



Е. А. Зельдин

Импульсные газоразрядные лампы и их схемы включения

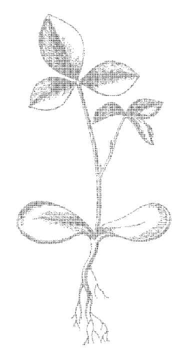
ИЗДАТЕЛЬСТВО
«ЭНЕРГИЯ»

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 523

Е. А. ЗЕЛЬДИН

ИМПУЛЬСНЫЕ ГАЗОРАЗРЯДНЫЕ ЛАМПЫ И ИХ СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»



МОСКВА 1964 ЛЕНИНГРАД

УДК 621.32 : 771.448.4
З 50

Описываются импульсные газоразрядные лампы многократного действия, их устройство, принцип действия, а также электрические и светотехнические характеристики ламп различных типов. Приводятся параметры отечественных ламп серийного производства, указываются области их применения, схемы включения и питания и правила эксплуатации. Описываются несложные практические устройства на этих лампах.

Брошюра рассчитана на подготовленных радиолюбителей, использующих фотоосветительные и стробоскопические устройства в своей работе.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Импульсные газоразрядные лампы появились сравнительно недавно. В настоящее время серийно производится более 30 типов импульсных ламп. Все они появились в результате оригинальных разработок советских ученых и инженеров.

Импульсные лампы успешно применяются в качестве источников кратковременных световых импульсов в разнообразной аппаратуре: от миниатюрных узлов медицинских приборов до мощных установок, освещающих значительные площади при ночных аэрофотосъемках.

Между тем в представлении многих, не только радиолюбителей, но и техников и инженеров, возможности применения импульсных ламп ограничиваются только портативными лампами-вспышками для любительских фотосъемок. Причина этого отчасти кроется в том, что до сих пор не было издано ни одной книги, специально посвященной импульсным лампам. Опубликованные материалы рассредоточены в различных специальных изданиях и практически недоступны массовому читателю.

Цель брошюры — познакомить с различными типами современных импульсных ламп, их устройством, характеристиками и методами использования. Из-за малого объема брошюры физические явления, происходящие в лампе, описаны в упрощенном виде и лишь в той мере, которая достаточна для уяснения принципа действия ламп.

СОДЕРЖАНИЕ

НАЗНАЧЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ ЛАМП

Основное назначение газоразрядных импульсных ламп — служить источником многократных световых импульсов большой силы и очень малой длительности (тысячные и миллионные доли секунды). Благодаря импульсному режиму работы сила света ламп общего назначения достигает 1—2 млн. свечей, а у некоторых типов 30—40 млн. свечей. Импульсные лампы компактны, дешевы, имеют большой срок службы[1], высокий к. п. д. и в видимой области спектра излучают свет, по составу близкий к солнечному. Электрические схемы включения ламп просты и позволяют легко управлять моментом вспышки и силой света. Частота следования импульсов может изменяться в пределах от одиночных (нерегулярных) вспышек до нескольких килогерц.

В интервалах между вспышками лампа представляет собой изолятор, в момент срабатывания сопротивление ее падает до нескольких ом, а ток, протекающий через лампу, достигает сотен и тысяч ампер. Поэтому, помимо прямого назначения, импульсные лампы могут также применяться в качестве управляемых и неуправляемых разрядников с холодным катодом.

Импульсные лампы применяются, как правило, в одном из двух режимов: для создания редких (с периодом 1—10 *сек*), но мощных световых импульсов либо для генерации частых и сравнительно слабых световых импульсов. Первый режим называют обычно фотоосветительным[2], второй — стробоскопическим по названию стробоскопа — прибора для визуального изучения быстрых периодических движений и измерения их частоты без нагрузки движущихся деталей. Если вал, делающий N *об/мин*, освещать импульсным светом частотой $f=N/60$, *гц*, то вспышки будут приходиться на одно и то же его положение при каждом обороте. Вращение как бы остановится, и в этом положении движущиеся детали можно зрительно исследовать, а по частоте импульсов определить точное число оборотов. Если частота вспышек незначительно отличается от частоты исследуемого процесса, то деталь представляется движущейся замедленно в ту или иную сторону с частотой, равной разности обеих частот.

---

[1] В фотографической практике иногда используются лампы одноразового действия со сгорающей нитью. Рассмотрение их выходит за пределы настоящей брошюры.

[2] До сих пор нет единой системы наименования импульсных ламп и деталей схем. Так, например, для ламп бытуют названия: фотовспышка, блитц-лампа, фотофляш и др. Поджигающий трансформатор иногда называют бобиной импульсным трансформатором, зажигающей катушкой.

Разработка импульсных ламп имела целью создание идеального источника света для фотографии. Однако, оказалось, что возможности их гораздо шире. С помощью импульсных ламп удалось по-новому решить многие задачи в различных областях науки и техники. Помимо их использования в фотографии, импульсные лампы широко применяются в кинематографии, в том числе и скоростной, в медицинской аппаратуре, в оптических локаторах-дальномерах, в вычислительных устройствах, для оптической телефонии, в приборах автоматики в телемеханики, в измерительной технике, для иллюминаций, в качестве средства сигнализации — на промышленных предприятиях, в маяках, на аэродромах. Мощные импульсные лампы используются для накачки квантовомеханических генераторов (лазеров). В спектре излучения импульсных ламп содержится значительное количество инфракрасных лучей, что позволяет осуществлять съемки и сигнализацию в невидимых глазом лучах.

Импульсные лампы могут быть использованы и в сельском хозяйстве. Опытами в теплицах установлено, что растения при освещении световыми импульсами длительностью 1 *мсек* через каждые 20 *сек* развивались так же, как контрольная группа в нормальных световых условиях.

Несмотря на обширный круг применений импульсных ламп, возможности их как источников света и как электровакуумных приборов еще не исчерпаны.

УСТРОЙСТВО И ХАРАКТЕРИСТИКИ ИМПУЛЬСНЫХ ЛАМП

Импульсная лампа представляет собой стеклянную трубку или колбу, в которую впаяны два металлических электрода. Большинство типов ламп имеет также третий вспомогательный электрод. Внутренний объем лампы заполнен инертным газом, состоящим из одноатомных молекул, — ксеноном, криптоном или их смесью. Давление газа может быть различным в зависимости от типа лампы.

Основная особенность импульсных ламп, отличающая их от других видов приборов, использующих электрический разряд в газе, состоит в том, что источник питания подключается к основным электродам непосредственно, без ограничивающих элементов. При сравнительно малых напряжениях питания никаких изменений в состоянии лампы не происходит: давление газа и расстояние между электродами обеспечивает электрическую прочность разрядного промежутка. В таком устойчивом состоянии лампа может находиться неограниченно долго. Если повышать напряжение на электродах, то после достижения некоторой величины $U_{\text{пр}}$ между электродами возникнет электрический разряд.

Напряжение, при котором возникает разряд, называется напряжением самопробоя. Величина его может колебаться в довольно значительных пределах даже для ламп одного типа. Для самых малых ламп это напряжение равно 0,8—1,5 *кв*, для больших ламп— 20—25 *кв* и выше.

Возникший электрический разряд быстро развивается (примерно за 10^{-6} *сек*), сопротивление разрядного промежутка падает до очень малой величины, и если источник питания достаточно мощный, то разряд переходит в сильноточную стадию. Ток через лампу возрастает до сотен и тысяч ампер. Протекание через разрядный промежуток таких больших токов сопровождается ярким свечением газа.

Очевидно, что возникший в лампе процесс можно поддерживать только малую долю секунды, иначе лампа будет разрушена выделяющейся в ней мощностью. Чтобы прекратить разряд, надо снять с электродов лампы напряжение либо уменьшить его до малой величины, после чего произойдет восстановление состояния разрядного промежутка и лампа снова будет готова к действию. Напряжение, при котором разряд прекращается, называется напряжением погасания $U_{пог}$ (напряженнем прекращения разряда). Величина его зависит от конструкции и размеров лампы и для разных типов лежит в пределах от 40—50 до 300—400 *в*. Восстановление состояния разрядного промежутка длится 10^{-5}—10^{-4} *сек*.

Несмотря на простоту устройства и принципа действия импульсной лампы, элементарные процессы в разрядном промежутке и на электродах чрезвычайно сложны. В упрощенном виде они могут быть представлены следующим образом. Газ, заполняющий внутренний объем лампы, состоит из огромного числа электрически нейтральных атомов. Кроме нейтральных атомов, в газе от действия внешних причин (космических лучей, радиоактивных излучений и т. д.) всегда существует некоторое количество свободных электронов и положительно заряженных ионов. Под влиянием электрического поля между электродами электроны ускоренно движутся к аноду, а положительные ионы к катоду. В своем движении они сталкиваются с атомами газа. Пока напряженность электрического поля в разрядном промежутке мала, кинетическая энергия даже самых быстрых частиц — электронов — недостаточна для ионизации атомов при столкновениях с ними.

С увеличением напряжения на электродах (а значит, и напряженности поля) скорость частиц увеличивается и при определенной величине $U_{пр}$ кинетическая энергия электронов становится достаточной для того, чтобы при столкновениях с атомом оторвать от него один или несколько электронов, т. е. ионизовать его. Образовавшиеся в результате ионизации электроны и положительные ионы, сами ускоряясь в электрическом поле, еще более ионизируют атомы. Этот процесс лавинообразно нарастает.

Существование свободных электронов и ионов весьма кратковременно: наряду с процессами ионизации всегда происходят обратные процессы рекомбинации (восстановления) разноименно заряженных частиц, а частицы, не успевшие рекомбинировать, достигают основных электродов — анода и катода и нейтрализуются.

Время пребывания в разрядном промежутке более подвижных частиц, электронов, короче, чем ионов, и поэтому там возникает избыток положительных ионов, которые создают сильное электрическое поле вблизи катода. Это поле и бомбардировка катода положительными ионами обеспечивают непрерывность эмиссии новых электродов с поверхности катода за счет энергии источника питания. Электрический разряд в газе будет продолжаться до тех

пор, пока напряжение на электродах будет достаточным для поддержания ионизации.

Электрическая энергия источника питания, затраченная на ионизацию газа, преобразуется в тепловую и лучистую энергию. Первая причина свечения ионизированного газа состоит в возбуждении его атомов. Только некоторая часть свободных электронов к моменту столкновения с атомом обладает энергией, необходимой для его ионизации. Значительная же часть свободных электронов при столкновениях только отбрасывает один или несколько электронов атома на более дальние от ядра орбиты — возбуждают атом. После столкновения атом приходит в нормальное состояние, а полученную порцию энергии излучает в виде элементарной частицы света — фотона. Вторая причина излучения ионизированного газа заключается в рекомбинации (воссоединении) электронов с ионами. При этом излучается фотон такой энергии, которая затрачена на ионизацию.

Использование редких газов — ксенона и криптона для наполнения импульсных ламп объясняется их большой световой отдачей (у ксенона она выше), благоприятным спектральным составом света и тем, что эти газы химически инертны.

Электрический разряд в лампе может возникнуть и при напряжениях, меньших, чем $U_{пр}$. Для этого необходимо каким-либо способом создать в разрядном промежутке определенное количество заряженных частиц, обладающих энергией, достаточной для начальной ионизации. Эти частицы, начав свое движение в электрическом поле между электродами, обеспечивают развитие разряда, подобного описанному выше.

В большинстве практических случаев напряжение, подаваемое на лампу, имеет величину, меньшую напряжения самопробоя, а ионизация создается путем подачи на специальный поджигающий электрод высоковольтного импульса (10—20 *кв*).

Для каждой лампы существует какое-то граничное напряжение на электродах, ниже которого разряд не будет возникать даже при интенсивной внешней ионизации. Минимальное напряжение, при котором гарантируется развитие разряда, называется наименьшим напряжением возникновения разряда ($U_{в}$). Это напряжение всегда выше напряжения погасания. Диапазон напряжений на основных электродах, при которых может работать импульсная лампа, т. е. разность $U_{пр}$—$U_{з}$, называется *диапазоном управляемости.*

Как отмечалось, для создания и поддержания разрядов в лампе требуется источник высокого напряжения, способный кратковременно развивать большой ток. Почти во всех применяемых на практике устройствах для этой цели применяют электролитические конденсаторы соответствующей емкости. В интервалах между разрядами конденсатор заряжается от батарей или выпрямителя. Так как время между вспышками обычно много больше их длительности, ток заряда может быть небольшим, а источник питания относительно маломощным. Второе достоинство этого метода состоит в том, что для прекращения разряда в лампе не требуется специальных устройств. Лампа гаснет в тот момент, когда напряжение на обкладках конденсатора достигает напряжения погасания.

Энергия, которой обладает заряженный конденсатор, выражается формулой

$$E = \frac{CU_C^2}{2} \ [дж], \tag{1}$$

где C — емкость конденсатора, *ф*; U_C — напряжение на зажимах конденсатора, *в*. Часто для удобства расчетов емкость выражают в микрофарадах, а напряжение в киловольтах. За время вспышки, если пренебречь потерями в проводах, энергия, рассеиваемая на лампе, равна:

$$E = \frac{CU_C^2}{2} - \frac{CU_{пог}^2}{2}, \tag{2}$$

где $U_{пог}$ — напряжение погасания лампы. В характеристиках импульсных установок последним членом из-за его относительной малости обычно пренебрегают. Иногда размерность энергии вспышки обозначают не в джоулях, а в равных величинах — ватт-секундах.

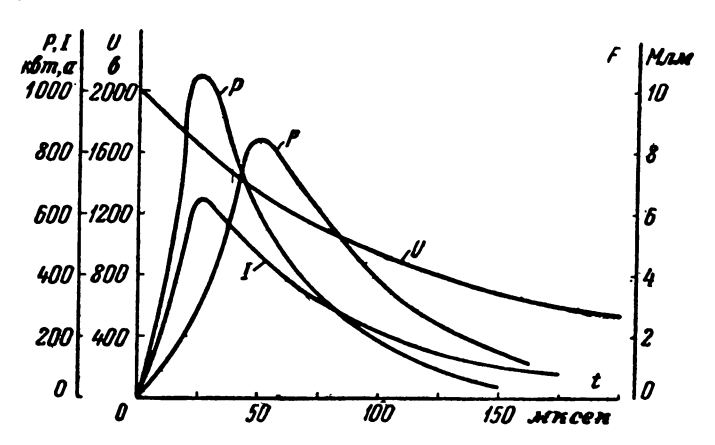


Рис. 1. Зависимость F, P, U, I от времени при разряде конденсатора через импульсную лампу.

F — световой поток; P — мощность; U — напряжение; I — ток.

На рис. 1 показаны графики, характеризующие разряд конденсатора (C=25 *мкф*, U_C=2 *кв*) через лампу, наполненную ксеноном.

В связи с тем, что задний фронт кривой светового потока имеет плавный спад, длительность светового импульса может быть оценена только условно временем, в течение которого световой поток падает до определенной части от амплитудного значения, например 0,5 или 0,1. В качестве критерия чаще всего берется время, за которое световой поток убывает до 37% от максимального значения. Выбор коэффициента 0,37 объясняется

только практическими удобствами — в этом случае, длительность светового импульса численно равна:

$$t = \frac{R_л C}{2}, \qquad (3)$$

где t — длительность светового импульса, *мксек*; $R_л$ — внутреннее сопротивление лампы, *ом*, а C — емкость разрядного конденсатора, *мкф*. За это время лампа излучает примерно 85% лучистой энергии.

Из формулы (1) следует, что нужную энергию вспышки можно получить, используя конденсаторы разной емкости и различные рабочие напряжения. Так, например, энергию в 50 *дж* можно получить, применяя конденсатор емкостью 25 *мкф* и напряжение 2 000 *в* либо конденсатор 2 500 *мкф* и напряжение 200 *в*. Малые емкости и высокие напряжения применяют в лабораторных фотоосветительных устройствах с очень короткой вспышкой, а также в мощных и высокочастотных стробоскопах, так как время заряда конденсатора между импульсами зависит от емкости, а не от напряжения. Габариты и вес высоковольтного конденсатора и питающего устройства к нему сравнительно велики, поэтому в портативных и переносных установках, где решающую роль играют вес и объем, применяют низковольтные лампы с компактными электролитическими конденсаторами.

Лампы в соответствии с условиями работы подразделяются на *фотоосветительные* и *стробоскопические* (строботроны). Это деление обусловлено различными требованиями, которым должны удовлетворять лампы, и условиями, ограничивающими предельные режимы работы. Максимальная энергия одиночной вспышки ограничивается стойкостью электродов (с вводами) и баллона. Электроды фотоосветительных ламп должны кратковременно выдерживать огромные токи, а стеклянный балон — тепловой удар и удар, вызванный увеличением давления газа. С точки зрения устойчивости к перегрузкам стробоскопические лампы характеризуются мощностью, которую они могут рассеивать без перегрева в течение требуемого срока непрерывной работы, т. е. температурной стойкостью.

Энергетическая способность фотоосветительных ламп определяется так называемым *коэффициентом* (фактором) *нагрузки*

$$H = CU_C^4, \qquad (4)$$

где H — коэффициент нагрузки; C — емкость разрядного конденсатора, *мкф*; U_C — рабочее напряжение, *кв*. Если при эксплуатации значения этого коэффициента превышать, то лампа выйдет из строя до истечения гарантированного числа вспышек. Зная величину коэффициента нагрузки и напряжение, при котором лампа должна работать, можно рассчитать предельно допустимую энергию одиночных вспышек:

$$E = \frac{H}{2U_C^2}. \qquad (5)$$

Так, например, для распространенной лампы ИФК-120 $H=25$. При рабочем напряжении 300 *в* лампа может длительно выдер-

живать энергию вспышек 120—130 *дж,* тогда как при напряжении 500 *в* — не более 45—50 *дж.*

Так как стойкость лампы быстро падает с увеличением напряжения питания, рабочий режим обычно выбирают близким к порогу зажигания.

При регулярных вспышках необходимо учитывать допустимую мощность рассеивания, которая определяется из выражения

$$P = \frac{CU_C^2}{2} f, \qquad (6)$$

где f — частота вспышек в секунду, *гц.*

Значение коэффициента нагрузки и предельной мощности приводят в таблицах наряду с другими параметрами ламп. Допустимую мощность, рассеиваемую в лампе, можно увеличить путем обдува воздухом или жидкостным охлаждением (дистиллированной водой, четыреххлористым углеродом, кремнийорганическими жидкостями и т. п.). В последнем случае мощность, рассеиваемую лампой, можно повысить в десятки раз.

Деление импульсных ламп на фотоосветительные и стробоскопические в достаточной мере условно: лампы можно использовать как в одном, так и в другом режимах, если не превышать предельно допустимых параметров.

Материалом для электродов служит металло-керамический сплав на основе вольфрама. Катоды ламп для уменьшения работы выхода электронов активируют. Баллоны ламп малой и средней мощности изготавливают из стекла. Для ламп, работающих с высокой удельной мощностью, баллоны изготавливают из плавленого кварца, так как он обладает высокой тугоплавкостью и низким коэффициентом теплового расширения. Помимо того, характерная для кварца повышенная прозрачность для инфракрасных лучей уменьшает потери на нагрев. Допустимая температура поверхности стеклянных баллонов 200°, кварцевых 600°С.

В зависимости от конструктивного выполнения импульсные лампы подразделяются на трубчатые и шаровые (широкие).

Трубчатые лампы делают в виде прямых или свернутых в компактное тело трубок. Часто их сворачивают в цилиндрические или шаровые спирали, либо изгибают в виде букв U, S, Ω и т. п. Давление газа в трубке ниже атмосферного. Для трубчатых ламп характерно то, что в разряде принимает участие значительная часть объема газа. Так как этот объем сравнительно велик, в трубчатых лампах могут рассеиваться значительные энергии.

Вспомогательный электрод, служащий для подачи высоковольтного поджигающего импульса, накладывают на внешнюю поверхность трубки. Ионизация газа лампы происходит благодаря электростатической индукции, которая вызывает появление электрического заряда на внутренней поверхности стенок стекла при появлении импульса напряжения на его внешней поверхности. Этот заряд создает первичный канал разряда между поджигающим и одним из главных электродов, который немедленно переходит в искровой разряд между основными электродами. Так как заряд, индуцированный на внутренней поверхности стекла, быстро нейтрализуется ионизированным газом, то с возникновением разряда в основном промежутке, управляющее действие наружного элек-

трода прекращается и восстанавливается вместе с восстановлением состояния основного разрядного промежутка. Чтобы ионизация была эффективной, поджигающий электрод должен плотно соприкасаться со стеклом, а высоковольтный импульс обладать большой крутизной переднего фронта. Конструктивно этот электрод может иметь вид отрезка голого провода небольшого диаметра, полоски из металлической пасты либо прозрачного токопроводящего слоя, покрывающего поверхность баллона.

Разновидность трубчатых ламп представляют собой лампы с малым сечением канала трубки, так называемые капиллярные лампы. Эти лампы характеризуются малой длительностью и высокой яркостью вспышки.

Шаровые лампы имеют широкую колбу, по форме близкую к шару либо к цилиндру. Основные электроды помещают в центре на небольшом расстоянии друг от друга. Давление газа внутри колбы у малых ламп близко к атмосферному, у больших достигает 3—5 *атм*. Область разряда составляет незначительную часть общего объема газа. Для надежного зажигания лампы маломощным импульсом поджигающий электрод находится внутри лампы, на близком расстоянии от основных. Чтобы исключить возможность возникновения сильноточного разряда между поджигающим электродом и одним из основных, последовательно с поджигающим электродом включают небольшой конденсатор.

По сравнению с трубчатыми шаровые лампы обладают меньшим внутренним сопротивлением и, следовательно, меньшей длительностью вспышки. Светящееся тело обладает большой яркостью, но размеры его малы, и поэтому световой поток ниже, чем у трубчатых ламп.

Работают шаровые лампы, как правило, в стробоскопическом режиме с малой энергией каждой отдельной вспышки, но могут применяться и для создания одиночных световых импульсов в тех случаях, когда требуется очень малая длительность и большая яркость.

Большинство устройств с импульсными лампами дает возможность строго синхронизировать начало светового импульса с другим процессом или явлением — моментом открытия затвора фотоаппарата, определенным положением исследуемого объекта и т. п.

Начальная ионизация в лампе может быть осуществлена несколькими способами, однако она создается чаще всего путем подачи на поджигающий электрод импульса высокого напряжения от специального трансформатора. Преимущественное применение этого метода, несмотря на то, что к трансформатору предъявляются особые требования в отношении изоляции обмоток, объясняется простотой и надежностью схемы, безынерционностью, легкостью управления моментом вспышки и возможностью дистанционного управления. Способ этот хорош и с точки зрения техники безопасности тем, что маломощная цепь поджига и цепи, питающие основные электроды, при этом электрически не связаны. Поджигающий трансформатор представляет собой высокочастотный трансформатор с коэффициентом трансформации порядка 1 : 50—1 : 100. Вторичную обмотку трансформатора подключают к поджигающему и к одному из основных электродов. Первичный импульс создается обычно путем разряда предварительно заряженного конденсатора небольшой емкости через первичную обмотку поджи-

гающего трансформатора. Момент вспышки задается замыканием двух контактов, например, синхроконтактами фотоаппарата. В интервалах между вспышками этот конденсатор подобно основному заряжается от источника питания. Реже применяется другая схема, когда импульс в первичной обмотке трансформатора создается зарядным током. В этом случае конденсатор разряжается в интервалах между вспышками.

Поджигающий импульс высокого напряжения должен быть, кроме того, достаточно мощным, поэтому емкость поджигающего конденсатора не может быть меньше некоторой минимальной величины.

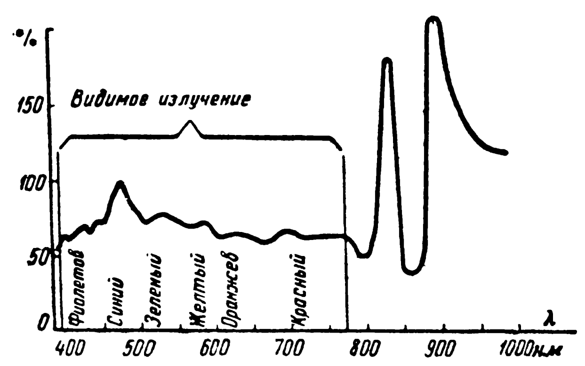


Рис. 2. Спектральная характеристика импульсной лампы ИФК-120.

Нагрузкой вторичной обмотки служит емкость между поджигающим и основными электродами. Чем меньше эта емкость, тем круче фронт поджигающего импульса и больше его амплитуда. Чтобы уменьшить паразитные емкости, поджигающий трансформатор располагают ближе к лампе.

От одного поджигающего трансформатора можно запускать несколько ламп. Если эти лампы пространственно разнесены, каждая снабжается своим трансформатором с питанием от общего поджигающего конденсатора.

Стробotроны могут запускаться как описанным способом (функцию синхроконтактов в этом случае выполняют обычно тиратроны), так и от специальных генераторов высоковольтных импульсов (блокинг-генераторов).

Спектр излучения импульсных ламп содержит ультрафиолетовые, видимые и инфракрасные лучи. В видимой области он непрерывен, почти точно воспроизводит спектр солнечного света (с небольшим избытком синих лучей) и мало зависит от типа лампы и параметров цепи. Спектр излучения весьма богат инфракрасными лучами: лучистый поток в инфракрасной области интенсивней, чем световой (видимый) поток. Ультрафиолетовое излучение сравнительно с инфракрасным и световым значительно бедней (рис. 2). За единицу (100%) была условно принята спектральная плотность излучения участка спектра 466—475 *нм*, максимальная в видимой области.

Баллоны ламп из стекла обычной прозрачности поглощают значительное количество инфракрасных и ультрафиолетовых лучей. Баллоны лампы для работы в невидимых участках спектра изготавливают из специального стекла.

Величина яркости вспышки зависит от мощности, приходящейся на единицу объема плазмы. Чем больше ток в канале разряда, тем температура и яркость плазмы выше. При определенной величине тока величина яркости зависит от давления газа и расстояния между электродами, т. е. тем больше, чем выше давление и чем короче канал разряда.

Световая отдача ксеноновых импульсных ламп при средних и больших нагрузках равна 35—45 *лм/вт*. Так как мгновенная мощность разряда достигает сотен киловатт, то и пиковые значения светового потока исчисляются миллионами люменов.

Максимальная частота следования вспышек зависит от времени восстановления разрядного промежутка. Она определяется конструкцией лампы, рабочим напряжением, рассеиваемой мощностью и тем, как быстро увеличивается напряжение на электродах в промежутках между вспышками. В зависимости от этих параметров в обычных условиях импульсный разряд может перейти в непрерывный, если поджигающие импульсы следуют с частотой 200—400 *гц*. Если между вспышкой и началом процесса заряда главного конденсатора имеется кратковременная пауза, предельная частота может достигать нескольких килогерц.

Срок службы импульсной лампы, работающей без перегрузок, т. е. в пределах допустимых величин коэффициента нагрузки и мощности, ограничивается электрической эрозией (распылением) катода. Эрозия проявляется в виде темного налета на внутренней поверхности баллона. По мере износа лампы плотность и площадь налета увеличивается, ухудшая светоотдачу.

Характер повреждения импульсной лампы при перегрузках зависит от того, какой из параметров электрического режима был превышен во время эксплуатации. При чрезмерных величинах коэффициента нагрузки баллон лампы и вводы электродов могут быть повреждены первым же импульсом либо прийти в негодность после нескольких вспышек. В результате перегрузок трубчатых ламп в канале стеклянных трубок образуются трещины, в кварцевых трубках отмечается испарение материала стенок.

При превышении допустимой мощности баллоны ламп перегреваются, что ведет к потере управляемости вследствие появления у стекла электропроводности, либо вследствие химической реакции его с металлическими деталями. Светотехнические характеристики импульсных источников света, помимо электрического режима, типы лампы и степени ее износа зависят также и от конструкции осветительной арматуры (отражателя, рассеивателя и т. п.). Для световых измерений требуется специальная сложная аппаратура, которая часто мало доступна. По этой причине в практических условиях световой поток, создаваемый импульсными осветительными устройствами, оценивают косвенным путем, т. е. по степени его воздействия на светочувствительную эмульсию.

Световой поток различных установок характеризуется условным коэффициентом, так называемым ведущим числом:

$$L = ld, \qquad (7)$$

где l — расстояние между лампой и объектом съемки, *м*;
d — значение диафрагмы при съемке.

Для каждой установки, работающей с постоянными электрическими параметрами, ведущее число по отношению к негативной эмульсии одной светочувствительности равно постоянной величине. Если при съемке произведение расстояния l на величину диафрагмы d равно ведущему числу, то детали на негативе будут проработаны нормально.

Для промышленных фотоосветительных устройств значения ведущих чисел приводятся в инструкциях по эксплуатации. Ведущие числа изготовленных самостоятельно устройств определяются опытным путем. Ведущее число может служить лишь приближенной оценкой светотехнических свойств установки, так как светочувствительность пленки может меняться в больших пределах в зависимости от режима проявления.

ИМПУЛЬСНЫЕ ЛАМПЫ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

В настоящее время выпускается более 30 типов импульсных ламп. Большой ассортимент ламп, выпускаемых нашей промышленностью, позволяет в каждом конкретном случае создавать установки с наиболее благоприятным световым и электрическим режимом

Условное обозначение каждой лампы состоит из трех прописных букв и числа. Первая буква И — импульсная — общая для всех типов; вторая буква показывает назначение лампы — Ф — фотоосветительная (одиночные вспышки), С—стробоскопическая; третья буква обозначает конструктивное выполнение лампы П, К, Т, Ш — прямая, компактная (со свернутой трубкой), точечная или шаровая (широкая). Число, следующее за буквами, характеризует предельно допустимый режим с оптимальным рабочим напряжением, при котором гарантируется определенный срок службы. Для фотоосветительных ламп это число соответствует энергии одиночной вспышки, для стробоскопических — мощности, рассеиваемой в лампе. Дополнительные цифры — 1,2 или 3, входящие в обозначения некоторых ламп, показывают номер конструктивного варианта.

Конструктивные данные, электрические и отдельные светотехнические параметры некоторых типов импульсных ламп сведены в табл. 1 и 2. Не приводятся данные ламп, снятых с производства, сугубо специальных и самых мощных и высоковольтных ламп.

Очевидно, что каждая лампа может работать в самых различных режимах. Некоторые типовые режимы приведены в табл. 3 и 4.

Внешний вид ламп показан на рис. 3 и 4. У ламп, не имеющих стандартных цоколей, положительный электрод (анод) отмечен цветной меткой либо знаком плюс (+).

1. Фотоосветительные лампы

ИФК-5. Применяют главным образом в медицинских приборах для освещения внутренних органов. Лампа не имеет поджигающего электрода. Для ее запуска вторичная обмотка поджигающего трансформатора включается непосредственно в разрядную цепь. Для

Фотоосветительные

Тип лампы	Внешний вид, рис. 3	Габаритные размеры, *мм*				Материал баллона	Форма светящейся части
		a	*b*	*c*	*d*		
ИФК-5	*а*	3	10	17	—	Стекло	Прямая
ИФК-15	—	—	—	—	—	То же	Цилиндрическая
ИФК-20	*б*	7	10	45	6,5	» »	Прямая
ИФК-50	*б*	7	20	55	6,5	» »	То же
ИФК-120	*в*	15	24	59	8	» »	U-образная
ИФП-200	*г*	8	200	295	6,5	» »	Прямая
ИФТ-200	*д*	28	38	65	18	Стекло увиолевое	Дисковая
ИФВ-300	*е*	25	63	118	8	Стекло	Кольцевая
ИФК-500	*ж*	37*	43	122	30	То же	Цилиндрическая
ИФП-500	*г*	8	350	445	6,5	» »	Прямая
ИФП-1 500	*г*	8	600	695	6,5	» »	То же
ИФК-2 000	*з*	23	36	162	65	Кварц	U-образная
ИФП-4 000	*г*	8,5	800	895	6,5	Стекло	Прямая
ИФП-15 000	*г*	12,5	580	735	9	Кварц	То же

* Имеет защитный колпак (у ИФК-15 матовый)
** Бесконденсаторное питание от сети переменного тока.

Стробоскопиче

Тип лампы	Внешний вид, рис. 4	Габаритные размеры, *мм*				Материал баллона	Форма светящейся части
		a	*b*	*c*	*d*		
ИСК-10	*а*	28,5	24	75	8	Стекло	U-образная
ИСК-25	*б*	16	21	58	10	Кварц	U-образная
ИСК-250	*в*	51	68	118	40	То же	Г-образная
ИСП-5	*г*	4	10	86	8	» »	Прямая
ИСП-10	*д*	76	22	88	34	Стекло	То же
ИСП-15	*д*	44	40	56	51	Кварц	» »
ИСП-70	*д*	80	33	92	46	То же	» »
ИСШ-15	*е*	33	2,5	79	38,5	Стекло**	Точечная
ИСШ-100-1**	*ж*	34	2,5	85	42	То же	То же
ИСШ-100-2							
ИСШ-100-3	*з*	35	5	97	40	» »	Прямая

* Время непрерывной работы (*мин*).
** Стекло увиолевое.

Таблица 1

импульсные лампы

Габариты светящейся части, *мм*	Напряжение зажигания, не выше, *в*	Напряжение самопробоя не ниже, *кв*	Оптимальное рабочее напряжение, *в*	Сопротивление лампы ориент, *ом*	Коэффициент нагрузки, *мкф·кв*⁴	Срок службы, тыс. вспышек
ø1,5×10	90	0,6	130	0,2	0,2	3
ø29×60*	112	не норм.	127/220**	0,8	—	2
ø4×14	100	0,7	130	0,2	1	30
ø4×24	140	1	200	0,3	6	30
ø5×23×30	180	1	300	0,8	25	10
ø5×200	450	2	500	2	600	10
ø6	150	0,6	200	0,15	—	1
ø85×5	240	1,5	300	2,5	250	10
					250	10
ø30×43	400	3,5	500	4		
ø5×350	450	3	500	3,5	3 200	10
ø5×600	900	4	1 000	6	17 500	10
ø9×40×70	250	2,2	500	0,45	1 000	5
ø6×800	1 300	5	1 400	8	32 000	10
ø9×580	1 600	5	2 400	1,8	20 000	10

Таблица 2

ские лампы

Габариты светящейся части, *мм*	Порог зажигания не выше, *в*	Напряжение самопробоя не ниже, *в*	Оптимальное рабочее напряжение, *в*	Внутреннее сопротивление, *ом*	Средняя мощность, *вт*	Срок службы, *ч*
ø5×23×30	180	1 000	300	0,8	10	50
ø5×21×20	250	1 000	300	0,4	25	100
ø10×67×45	150	1 500	450	0,3	250	30
ø0,5×10	800	2 500	1 000	—	5	10
ø1×62	700	3 000	1 000	30	10	500
ø0,5×35	600	2 500	800	35	15	300
ø0,5×70	900	3 000	1 200	100	70	100
ø1×2,5	250	1 200	450	—	15	300
ø0,7×2,5	2 800	3 500	3 000	—	100	0,2 (0,5)*
ø2×6	2 500	6 000	4 500	—	100	5 (10)*

Типовые режимы.

Тип лампы	Рабочее напряжение, *в*	Емкость конденсатора, *мкф*	Энергия вспышки, *дж*	Длительность вспышки, *мсек*	Интервал между вспышками не менее, *сек*	Амплитудная мощность, *квт*
ИФК-5	130	1 500	10**	10**	10	—
ИФК-15	127* 220* 300	— — 800	35 60 36	7 7 0,4	10 20 10	3 7 90
ИФК-20 ИФК-50 ИФК-120 ИФП-200	130 200 300 500	2 500 2 500 2 500 1 600	20 50 120 200	0,2 0,4 1 1,6	10 10 10 7,5	100 125 120 140
ИФТ-200	200 200	13 500 3 000	200** 40	10** 3	15 15	— 17
ИФБ-300 ИФК-500 ИФП-500 ИФП-1 500	300 500 500 1 000	6 500 4 000 4 000 3 000	300 500 500 1 500	8 8 7 9	7,5 15 7,5 15	36 65 70 160
ИФК-2 000	500 320	16 000 8 000	2 000 400	4 2	15 1,3	500 200
ИФП-4 000 ИФП-15 000	1 400 2 400	4 000 5 000	4 000 15 000	16 4,5	15 12	250 3 300

* Бесконденсаторное питание от сети переменного тока.
** С буферным дросселем.

Таблица 3

Фотоосветительные лампы

Средняя мощность, *вт*	Срок службы не менее тыс. вспышек	Амплитудная сила света, *ксв*	Наименьшее освечивание, *св·сек*	Амплитудная яркость, *Мнт*	Интеграл яркости, *кнт·сек*
1	3	2	2	800	800
3,5 3 3,6	2 2 2	15 25 9	70 120 36	4 10 100	30 70 50
2 5 12 27	30 30 10 10	100 200 250 250	30 100 250 400	2 500 2 200 700 230	500 900 700 350
15 3	1 5	20 17	200 50	700 500	7 000 1 800
40 33 65 100	10 10 10 10	60 130 140 450	500 1 000 1 000 4 000	50 90 80 130	400 700 580 1 150
133 300	5 100	1 500 600	6 000 1 200	1 300 500	5 000 1 000
270 1 250	10 10	750 11 000	12 000 50 000	160 2 000	2 600 9 300

Типовые режимы.

Тип лампы	Частота вспышек, *гц*	Рабочее напряжение, *в*	Емкость разрядного конденсатора, *мкф*	Энергия одиночной вспышки, *дж*	Длительность вспышки, *мксек*	Средняя мощность, *вт*
ИСК-10	1 000 200 50 1	500 300 300 300	0,08 1 4,5 220	0,01 0,05 0,2 10	7 15 25 200	10 10 10 10
ИСК-25	100 1 0,05	1 000 300 300	1 550 13 000	0,5 25 600	6 150 6 000	50 25 30
ИСК-250	3 2 1	450 450 450	830 1 250 2 500	83 125 250	300 400 700	250 250 250
ИСП-5	100 100	1 000 1 000	0,01 0,2	0,05 0,1	2,5 18	5 10
ИСП-10	0,2	1 000	20	10	200	2
ИСП-15	100 0,2	800 800	0,5 20	0,16 6,4	150 100	15 1,2
ИСП-70	400 0,2	1 200 1 200	0,25 28	0,175 20	25 500	70 4
ИСШ-15	500 50 Одиночные	450 450 1 000	20 0,25 20	0,03 0,025 10	1,5 1,5 15	15 1,25 —
ИСШ-100-1 и ИСШ-100-2	400 400 Одиночные	3 000 3 000 3 000	0,05 0,025 11	0,25 0,125 50	1,3 0,9 15	100 50 —
ИСШ-100-3	20 50 Одиночные	4 500 3 500 3 000	0,5 0,5 11	5 3 50	2,5 2,5 15	100 150 —

Таблица 4

Стробоскопические лампы

Время непрерывной работы, *мин*	Срок службы, *ч*	Амплитудная сила света, *ксв*	Усредненная сила света, *св*	Наименьшее освещение вспышки, *св·сек*	Амплитудная яркость, *Мнт*	Коэффициент нагрузки, *мкф·кв*^{2}
—	50	—	0,5	—	—	—
—	50	0,5	1,5	0,008	5	—
—	—	—	—	—	—	—
—	50	40	—	8	100	25
—	50	50	25	—	—	—
—	100	300	—	60	2 000	—
—	50	300	—	1 200	2 000	105
—	30	1 000	—	250	900	700
—	30	1 200	—	375	1 000	700
—	30	1 300	—	750	1 100	700
—	10	150	—	0,03	$4\cdot10^4$	—
—	500	3	5	0,05	50	—
—	—	100	—	20	1 500	20
—	300	6	—	0,07	400	—
—	—	90	—	10	5 000	8
—	100	6	40	0,1	200	—
—	—	100	—	40	3 000	60
—	300	4	3	0,006	1 500	—
—	5 000	4	0,25	0,005	1 500	—
—	—	300	—	5	$5\cdot10^4$	—
0,5	0,2	150	80	0,2	10^6	—
—	2	110	40	0,1	10^5	—
—	—	3 000	—	50	10^5	—
10	5	1 600	—	3	10^6	—
1	—	600	100	2	10^5	—
—	—	3 000	—	50	10^5	—

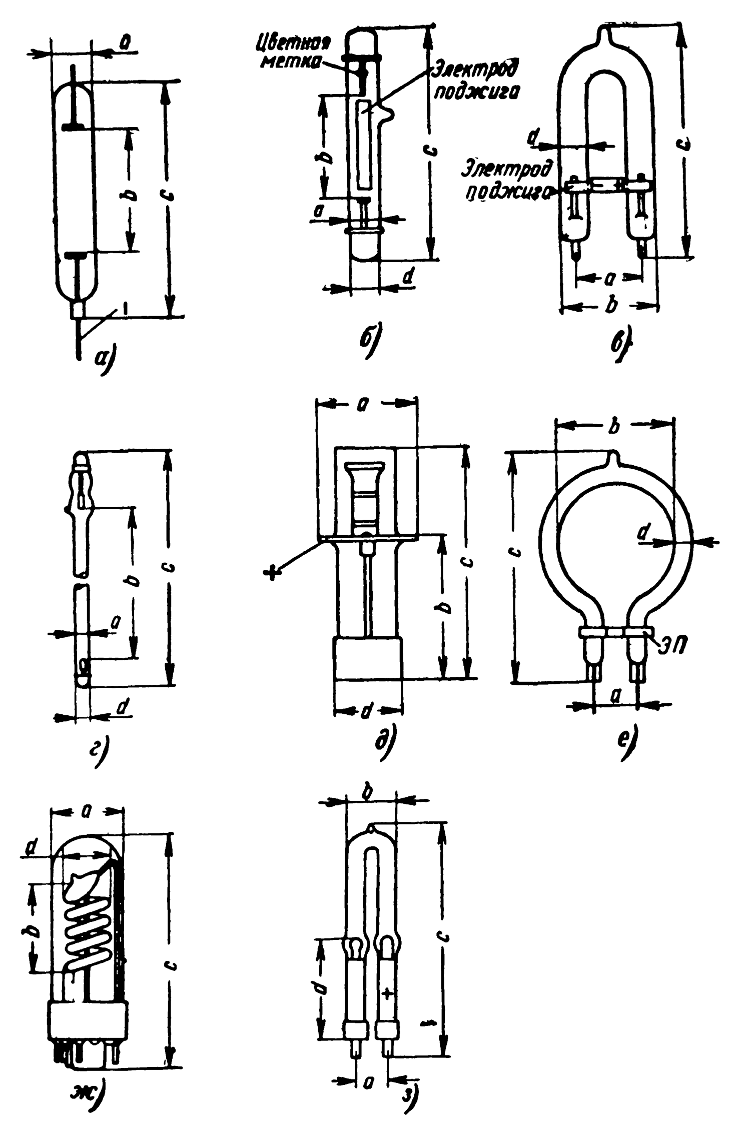


Рис. 3. Внешний вид отечественных фотоосветительных ламп (см. табл. 1).

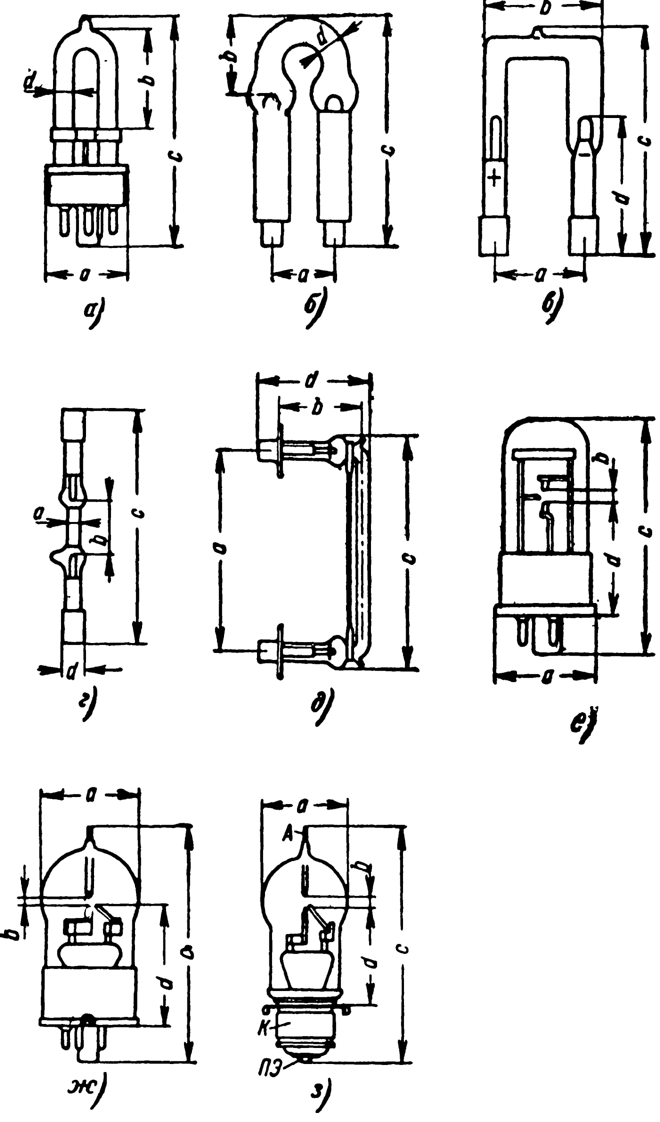


Рис. 4. Внешний вид отечественных стробоскопических ламп (см. табл. 2).

уменьшения амплитуды тока через лампу в разрядную цепь включают буферный дроссель индуктивностью 1,5 *мгн* и сопротивлением не более 0,2 *ом*. Если же вторичная обмотка поджигающего трансформатора имеет требуемую индуктивность и сопротивление, тогда можно обойтись без дросселя.

ИФК-20, ИФК-50 и ИФК-120. Благодаря малым размерам и низкому рабочему напряжению применяются главным образом в портативных переносных фотоосветительных устройствах. Могут быть также использованы в автоматических и измерительных устройствах для световой сигнализации, нанесения отметок времени и т. д. Поджигающий электрод выполнен в виде полоски из серебряной пасты, нанесенной на поверхность трубки. У ламп ИФК-20 и ИФК-50 прилив, через который откачивался газ (штенгель), может быть использован для ориентации лампы. Наиболее употребительная из этой группы лампа ИФК-120. В будущем следует ожидать преимущественного распространения более низковольтных ламп ИФК-50 и ИФК-20.

ИФТ-200. Служит источником направленного света при съемке труднодоступных мест (например, внутренних полостей человека). Светящаяся часть имеет форму диска, выход света с торца лампы. Поджигающего электрода лампа не имеет. Буферный дроссель имеет индуктивность 0,8—1 *мгн*, активное сопротивление дросселя для исключения потерь энергии должно быть не более 0,05 *ом*.

ИФП-200. Так же как и другие лампы прямой конструкции, предназначена главным образом для работы с цилиндрической оптикой, дающей узкую полосу света. Прямые лампы удобно применять для сигнализации, например, для очерчивания плоскостей или указания направления путем использования нескольких ламп, срабатывающих последовательно. В качестве поджигающего электрода использована тонкая неизолированная проволока (диаметром 0,2—0,5 *мм*) из металла, не подвергающегося коррозии при высоких температурах (например, никеля). Проволоки навивают по длине трубки, отступив на 10—15 *мм* от электродов. Если на лампе нет обозначения полярности, в качестве катода используется электрод, возле которого стекло имеет вздутие.

ИФБ-300. Применяется главным образом при макро- и микрофотосъемке. Лампу размещают в кольцевом рефлекторе, расположенном вокруг объектива фотоаппарата. Бестеневое освещение достигается тем, что на детали, расположенные симметрично оси объектива, попадает равное количество света. Выводы основных электродов имеют форму флажков.

ИФК-500. Универсальная лампа общего назначения. Имеет внешний защитный колпак, благодаря которому может применяться в открытых рефлекторах (при защищенной панельке). В тех случаях, когда лампа используется в закрытом рефлекторе, внешний баллон может быть снят (для этого следует размягчить бензином или ацетоном крепящую его мастику). Без защитного баллона допустимая мощность, рассеиваемая в лампе, увеличивается примерно вдвое. Лампа имеет стандартный 14-штырьковый цоколь.

ИФК-2000. Также универсальная лампа. Поджигающим электродом служит отрезок никелевой проволоки, который придается к каждой лампе. Благодаря низкому напряжению зажигания может использоваться в бесконденсаторных схемах с питанием от сети переменного тока 220 *в*. Лампа хорошо работает также в стробоскопи-

ческом режиме при напряжении на электродах до 2 *кв* и мощности, рассеиваемой в лампе, до 150 *вт*.

ИФК-15. Предназначена специально для питания от сети переменного тока в бесконденсаторных схемах. Однако может быть использована в обычных схемах с конденсаторами. Внутри защитного матированного колпака расположены: собственно лампа (типа ИФК-120), поджигающий трансформатор и тиратрон с холодным катодом. Благодаря этому остальная часть устройства очень проста и компактна. Цоколь лампы рссчитан для установки в стандартные 8-штырьковые панельки.

2. Стробоскопические лампы (строботроны)

ИСК-10, ИСК-25. Лампа ИСК-10 по электрическим характеристикам, форме и размерам светящейся части близка к лампе ИФК-120 и отличается от нее конструктивно наличием октального цоколя. Для повышения срока службы при работе в стробоскопическом режиме с предельной мощностью лампу следует дополнительно охлаждать. Лампа ИСК-25, помимо стробоскопического режима, благодаря большому коэффициенту нагрузки может применяться в режиме одиночных вспышек в тех случаях, когда нужную энергию вспышки с помощью других малых ламп получить не удается.

ИСП-5, ИСП-10, ИСП-15, ИСП-70. Трубчатые капиллярные лампы. Благодаря небольшому сечению канала разряда вспышки имеют высокую яркость и малое время действия. Основное назначение ламп заключается в возбуждении фотодатчиков в кодирующих устройствах электронных счетных машин при преобразовании непрерывных величин в цифровой код.

ИСШ-15. Применяется в тех случаях, когда требуется точечный источник света с большой яркостью и малой длительностью светового импульса. Для повышения срока службы между разрядным конденсатором и лампой следует включать безындукционное сопротивление 1—2 *ом*.

ИСШ-100-1, ИСШ-100-2, ИСШ-100-3. Первые две лампы имеют одинаковую конструкцию и отличаются между собой только сортом стекла баллона. У лампы ИСШ-100-1 баллон из увиолового стекла, пропускающего ультрафиолетовые лучи, у ИСШ-100-2 — из стекла обычной прозрачности. Лампы имеют 8-штырьковый (октальный цоколь). ИСШ-100-3 отличается от первых двух ламп конструктивным оформлением и режимом работы. Применяется в случаях, когда необходима небольшая частота следования световых импульсов, но повышенная интенсивность каждого импульса. Лампа снабжена так называемым фокусирующим цоколем.

ИСК-250. Мощная стробоскопическая лампа. Благодаря низкому рабочему напряжению может быть использована в средах с повышенной влажностью и пониженным атмосферным давлением.

Завод-изготовитель импульсных ламп рекомендует применять поджигающие трансформаторы, данные которых приведены в табл. 5. Эти трансформаторы спроектированы с учетом возможности массового изготовления и использования их при пониженном напряжении питания, при удалении трансформатора от лампы и т. п. Применение магнитного сердечника (ферритовый стержень, обрезки трансформаторного железа) повышает мощность поджигающего импульса.

Таблица 5

Поджигающие трансформаторы

Тип лампы	Емкость поджигающего конденсатора, *мкф*	Напряжение на поджигающем конденсаторе, *в*	Количество витков, марка и диаметр провода		Размеры оправки, *мм*		Изоляция
			Первичная обмотка	Вторичная обмотка	Диаметр	Длина	
ИФК-20 ИФК-50 ИФК-120 ИФБ-300	0,5 0,5 0,1 0,5	130 200 300 300	ПЭЛ 0,69 30 витков	ПЭЛШО 0,07 2 000 витков	7 без железа	20 без железа	Кабельная бумага
ИФТ-200	0,5	200	ПЭВ-2 0,51 2 витка	ПЭВ-2 0,51 50 витков	Сердечник Ш-12×15,8 *мм* материал феррит Φ_1=1 000		То же
ИФК-500	0,4	500	ПЭЛ 0,69 27 витков	ПЭЛШО 0,07 3 000 витков	7	20	То же
ИФП-200 ИФП-500 ИФП-1500 ИФК-2000 ИФП-4000 ИФП-15000	1 1 1 0,5 1 0,5	500 500 1 000 500 1 000 1 500	ПЭЛ 0,93 25 витков	ПЭЛШО 0,15 2 500 витков 19 слоев	21	50	То же Пропитка маслом

Во многих случаях количество витков и габариты трансформаторов можно уменьшить. Так, например, малые лампы хорошо поджигаются трансформатором с первичной обмоткой, состоящей из 3—5 витков провода ПЭВ 0,51, и вторичной обмоткой из 300—500 витков ПЭЛШО 0,06—0,08. Обмотки могут быть размещены на ферритовом кольце с наружным диаметром 18 и толщиной 5 *мм* либо на небольшой катушке со щечками высотой 6—10 и диаметром 15—10 *мм*. Лучшая форма для поджигающего трансформатора — сравнительно малая высота и большой диаметр. В этом случае упрощается проблема создания хорошей изоляции между слоями.

Кроме кабельной бумаги, для междуслойной изоляции можно также применять триацетатную пленку, лакоткань и другие изолирующие материалы.

СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ И ПИТАНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ ЛАМП

Несмотря на разнообразие применений фотоосветительных устройств, их электрические схемы различаются, как правило, незначительно. Схемы стробоскопических устройств более разнообразны. Помимо конструктивных отличий, отдельные установки различаются числом одновременно срабатывающих ламп, величиной рабочего напряжения, энергией вспышек, родом источника питания и типом ламп. Переносные фотовспышки имеют одну-две лампы, работают

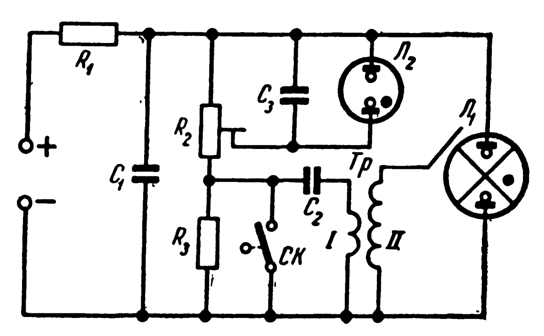


Рис. 5. Типовая схема включения импульсной лампы.

при напряжениях 100—500 *в* и дают энергию одиночной вспышки в пределах 10—100 *дж*. В стационарных и лабораторных установках число одновременно работающих ламп может достигать 8—10, а общая энергия вспышки — нескольких десятков тысяч джоулей. Во многих устройствах предусматривается возможность управления энергией вспышки, которую можно регулировать подключением (или отключением) дополнительных конденсаторов, изменением рабочего напряжения либо обоими способами одновременно.

На рис. 5 приведена типовая схема, положенная в основу большинства практически применяемых устройств. Для создания разряда в лампе служит конденсатор C_1, для запуска — поджигаю-

щий трансформатор Tp и конденсатор C_2. После включения источника питания C_1 заряжается через сопротивление R_1, а конденсатор C_2 через сопротивление R_2 и первичную обмотку трансформатора. В момент замыкания синхроконтактов CK конденсатор C_2 разряжается через первичную обмотку поджигающего трансформатора, создавая в ней импульс тока. Высоковольтный импульс, возникающий на вторичной обмотке, ионизирует газ в лампе $Л_1$, вызывая разряд конденсатора C_1. После того как этот конденсатор разрядился, лампа гаснет и начинается повторный заряд конденсаторов для последующего цикла. Делитель сопротивлений R_2R_3, ограничивающий напряжение на конденсаторе C_2, применяется в том случае, если напряжение питания превосходит напряжение, допустимое для контактов CK.

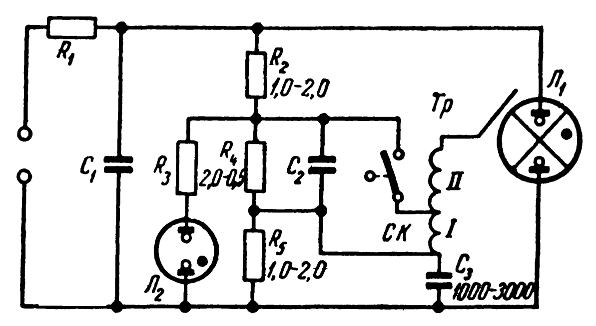


Рис. 6. Вариант схемы включения импульсной лампы.

Постоянные времени зарядной цепи R_1C_1 и цепи R_2C_2 подбирают так, чтобы замыкание синхроконтактов до истечения допустимого интервала между вспышками не вызывало разряда. Этим обеспечивается, с одной стороны, постоянство энергии вспышек и, с другой стороны, предупреждается преждевременный износ лампы и батарей.

Так как энергия вспышки пропорциональна квадрату напряжения питания, важное значение имеет знание величины напряжения на конденсаторе C_1 перед вспышкой. Неоновая лампа $Л_2$ служит индикатором напряжения на основном конденсаторе. Эта лампа и конденсатор C_3 вместе с сопротивлениями делителя образуют релаксационный генератор. Когда напряжение на конденсаторе C_3 достигает потенциала зажигания лампы $Л_2$, она вспыхнет и через нее происходит частичный разряд конденсатора. Когда конденсатор C_3 дозарядится, лампа вспыхнет снова. По частоте вспышек можно судить о напряжении на конденсаторе C_1: с его увеличением лампа $Л_2$ вспыхивает чаще. Параметры этой цепи подбираются так, чтобы при заряженном конденсаторе C_1 мерцание лампы $Л_2$ казалось непрерывным светом. Величину сопротивлений R_2 и R_3 выбирают достаточно большой, чтобы делитель не потреблял большого тока от источника питания. Подстроечный потенциометр R_2 можно заменить двумя постоянными сопротивлениями.

Иногда детали поджигающей цепи подключают к среднему сопротивлению делителя (рис. 6). Это делается для отделения синхроконтактов от разрядной цепи большим сопротивлением, например, при питании фотовспышки непосредственно от сети переменного

тока с помощью простейших выпрямителей. В установке, собранной по схеме на рис. 5, гнездо синхроконтакта, а следовательно, и корпус фотоаппарата при питании от сети переменного тока будет находиться под потенциалом сети, что недопустимо по правилам техники безопасности.

На рис. 6, кроме того, показаны варианты включения поджигающего трансформатора и индикатора с неоновой лампой.

Если рабочее напряжение невелико (100—300 *в*), схему можно упростить (рис. 7). В этом случае неоновая лампа $Л_2$ образует релаксационный контур с конденсатором поджига C_2. В остальном схема работает так же, как было описано выше. Важно лишь, чтобы при любых напряжениях на конденсаторе C_2 надежно поджигалась импульсная лампа. Лучше всего применять в этой схеме неоновую

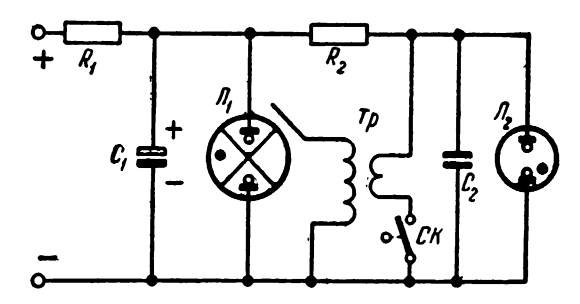


Рис. 7. Упрощенная схема фотоосветительной установки.

лампу с потенциалом зажигания, близким к рабочему напряжению, или две лампы, соединенные последовательно.

В тех случаях, когда требуется знание напряжения на основном конденсаторе для точного определения энергии вспышки, применяются стрелочные вольтметры, шкалы которых могут быть проградуированы непосредственно в джоулях.

Если подача запускающего импульса на поджигающий электрод нежелательна (например, во взрывоопасной атмосфере или при введении лампы в полости организма) или невозможна (лампы ИФК-5, ИФТ-200), тогда вторичная обмотка поджигающего трансформатора может быть включена непосредственно в разрядную цепь. Чтобы в обмотке не терялась энергия, сопротивление ее должно быть мало либо параллельно ей должен быть включен дроссель (рис. 8). Эта схема может быть применена и в обычных условиях, когда увеличение длительности светового импульса не имеет большого значения. Индуктивность в разрядной цепи уменьшает амплитуду тока через лампу, благодаря чему увеличивается срок ее службы, либо при той же долговечности может быть повышена предельно допустимая энергия вспышек. При включении вторичной обмотки трансформатора в разрядную цепь порог зажигания лампы снижается.

В случае необходимости несколько однотипных ламп могут быть соединены последовательно с питанием от общего конденсатора. Поджигающий импульс подается на все лампы одновременно. Параллельно каждой лампе необходимо включить сопротивление

(0,5—5 *Мом*) и конденсатор (0,1—0,5 *мкф*). Параллельное соединение двух или нескольких импульсных ламп нецелесообразно, особенно при вспышках малой длительности вследствие разной скорости развития разряда.

Питание импульсной лампы от конденсатора не единственно возможный способ. Для этой цели пригоден в принципе любой генератор, способный кратковременно развить необходимую мощность. Правда, в практических условиях использование таких источников, как батарея аккумуляторов, или использование энергии, накопленной в катушке индуктивности, связано с техническими трудностями.

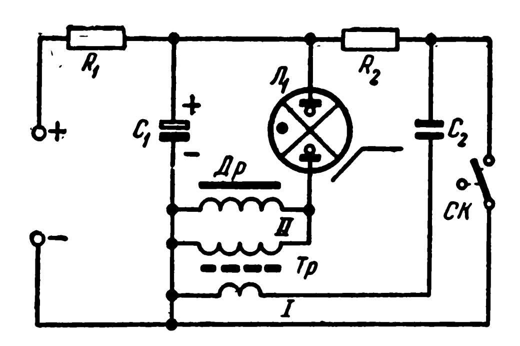


Рис. 8. Схема включения импульсной лампы без поджигающего электрода.

Из бесконденсаторных методов некоторое распространение получил метод питания ламп непосредственно от сети переменного тока 127 и 220 *в*. Специально для работы от сети переменного тока выпускается лампа ИФК-15. Кроме того, для этой цели пригодны лампы с низким порогом зажигания — ИФК-50 (для сети 127 *в*), ИФК-120, ИФБ-300, ИФК-2 000 (для сети 220 *в*). Электроды лампы подключены к сети непосредственно или через небольшое балластное сопротивление. Отличие от описанных способов состоит в том, что вызвать разряд в лампе можно не в любой момент, а только в течение той части периода, когда напряжение на электродах превышает порог зажигания. Чтобы получить постоянство энергии от вспышки, каждый поджигающий импульс должен быть строго синхронизирован с фазой напряжения сети. Для получения максимальной энергии вспышки подача поджигающего импульса должна происходить в момент, когда напряжение на электродах достигает порога зажигания. Возникший разряд длится до тех пор, пока напряжение не снизится до величины погасания лампы. Лампа проводит ток примерно в течение $^1/_3$ периода, что при частоте сети 50 *гц* соответствует 1/140—1/170 *сек* (6—7 *мсек*). Такие кратковременные перегрузки для сети не опасны.

Энергия вспышки при таком способе питания зависит от напряжения сети, частоты переменного напряжения, сопротивления проводов сети, моментов возникновения и прекращения разряда и сопротивления лампы (с балластным сопротивлением).

Можно считать, что лампы с внутренним сопротивлением порядка 1 *ом* при питании от сети переменного тока имеют энергию вспышки 30—40 *дж* при напряжении 127 *в* и 40—60 *дж* при напряжении 220 *в*. Лампа ИФК-2 000 при работе от сети напряжением 220 *в* имеет энергию вспышки 200—400 *дж*. Так как в момент разряда сопротивление лампы становится соизмеримым с сопротивлением подводящих проводов, то при питании через трансформатор или при недостаточной мощности сети световой импульс окажется ослабленным.

На рис. 9 приведена схема включения импульсной лампы ИФК-120 в сеть переменного тока напряжением 220 *в*.

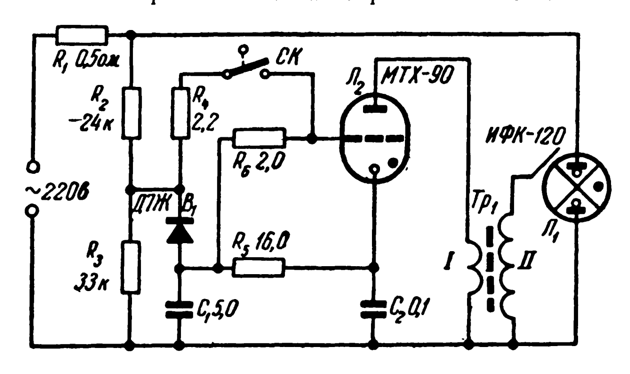


Рис. 9. Схема включения импульсной лампы в сеть переменного тока.

Синхронизация момента поджига лампы с фазой сетевого напряжения обеспечивается тиратроном $Л_2$, к аноду и катоду которого приложено постоянное напряжение конденсатора C_2. На поджигающий электрод тиратрона $Л_2$ после замыкания синхроконтактов *СК* поступает переменное напряжение. Сопротивления R_4, R_6 подобраны так, что отпирание тиратрона происходит в момент, когда мгновенное напряжение сети достигает порога зажигания импульсной лампы. Большая величина сопротивлений R_4 и R_6 предохраняет оператора от возможных поражений током. Поджигающий импульс возникает от разряда конденсатора C_2 через тиратрон $Л_2$ и первичную обмотку трансформатора $Тр_1$. Лампа защищена от срабатывания при частых замыканиях контактов *СК* цепочкой R_5C_2, пока конденсатор C_2 не зарядится, тиратрон не сработает. Наладка схемы сводится к подбору максимальной величины сопротивления R_4, при которой происходит уверенный поджиг лампы при пониженном напряжении сети (200 *в*). Схема включения лампы ИФК-15, по существу, не отличается от описанной.

Несмотря на то что из-за отсутствия конденсатора получается некоторый выигрыш в габаритах, весе и стоимости всего устройства, непосредственное питание импульсных ламп от сети переменного тока применяется нечасто. Основные недостатки бесконденсаторных схем: задержка срабатывания лампы относительно момента замыкания синхроконтактов, величина которой может меняться, зависимость энергии вспышки от параметров сети и изменение ее от вспышки к вспышке.

Для создания стробоскопического режима работы импульсной лампы могут быть использованы схемы, описанные выше, если замыкать синхроконтакты с требуемой частотой и обеспечить заряд конденсаторов в интервалах между вспышками. В действительности же схемы стробоскопов по сравнению с схемами ламп-вспышек отличаются большей сложностью. Объясняется это тем, что стробоскопы, как правило, представляют собой универсальные приборы и позволяют управлять частотой вспышек, как от встроенного генератора, так и с помощью внешних устройств. Очень важна также стабильность следования световых импульсов, так как даже незначительные колебания частоты и фазы воспринимаются глазом как дрожание исследуемого предмета.

Схема простого стробоскопа показана на рис. 10. Поджигающие импульсы создаются блокинг-генератором, который собран по схеме с положительным смещением и имеет повышенную стабильность частоты следования импульсов. Частота импульсов изменяется с помощью потенциометра R_2. Трансформатор блокинг-генератора сконструирован так, что величина импульса напряжения на выходной обмотке достаточна для ионизации газа в лампе. Диод B_1 гасит колебания в обмотках трансформатора в промежутках между импульсами. Сопротивления R_1 и R_8 служат для калибровки частотного диапазона прибора, сопротивлением R_3 подстраивают низкочастотный участок диапазона, сопротивлением R_1 — высокочастотный. Если частота вспышек должна быть синхронизирована с каким-либо внешним процессом, тогда блокинг-генератор можно перевести в заторможенный режим с запуском внешними импульсами.

Для надежного запуска малых стробоскопических ламп электронные лампы общего назначения (6Н15П, 6Н5П) обеспечивают необходимую мощность поджигающего импульса. Для запуска крупных импульсных ламп может потребоваться более мощный блокинг-генератор.

Трансформатор $Тр_1$ собран на сердечнике Ш-12×8. Его сеточная обмотка содержит 60 витков провода ПЭВ-2 0,2 *мм*, анодная обмотка — 60 витков того же провода, а выходная обмотка — 6 000 витков провода ПЭЛШД 0,06 *мм*.

При изготовлении стробоскопа особое внимание следует уделить изготовлению трансформатора. Поскольку на выходной обмотке напряжение должно иметь величину 10—15 *кв*, качество изоляции обмоток должно быть очень высоким. Боковые щечки каркаса трансформатора лучше сделать из листового органического стекла толщиной 1,5—2 *мм*. Распределенная межвитковая емкость и индуктивность рассеивания должны быть сведены к минимуму.

Схема, приведенная на рис. 10, может работать также и с импульсными лампами ИСК-25, ИФК-120, ИСШ-15. Для лампы ИСШ-15, имеющей внутренний поджигающий электрод, между выходной обмоткой трансформатора и поджигающим электродом включается конденсатор емкостью 100—500 *пф*.

Номиналы конденсаторов и сопротивлений на схеме приведены для работы в диапазоне 10—55 *гц*. В скобках указаны номиналы для работы в диапазоне 50—275 *гц*.

Для работы на повышенных частотах (больше 300—400 *гц*), когда интервал между вспышками становится соизмеримым с временем восстановления состояния разрядного промежутка, необхо-

димо принимать специальные меры, препятствующие переходу импульсного разряда в непрерывный. Для этого цепь заряда рабочего конденсатора отключают на время, необходимое для восстановления состояния разрядного промежутка, т. е. создают крат-

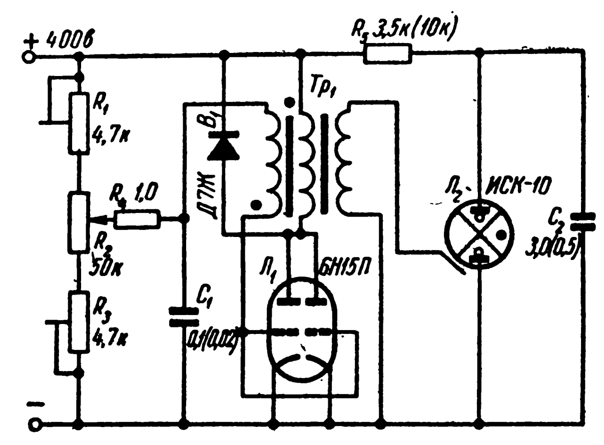


Рис. 10. Схема стробоскопа, управляемого блокинг-генератором.

ковременную паузу между моментом вспышки и началом заряда рабочего конденсатора. Из различных схем стробоскопов для повышенных частот рассмотрим лишь одну — с двумя импульсными лампами (рис. 11). Емкость конденсатора C_1 в несколько раз больше емкости конденсатора C_2. Поджигающие импульсы подаются на

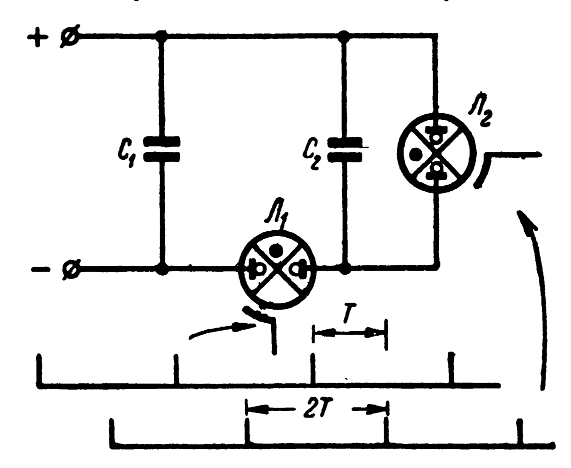


Рис. 11. Схема стробоскопа с двумя импульсными лампами.

каждую лампу поочередно. От первого импульса в лампе $Л_1$ возникает разряд, и конденсатор C_1 отдает часть энергии лампе $Л_1$ и конденсатору C_2. Разряд в лампе $Л_1$ прекращается в тот момент, когда конденсатор C_2 зарядится настолько, что напряжение на ее электродах достигнет напряжения прекращения разряда. Второй импульс вызовет разряд конденсатора C_2 через лампу $Л_2$. В дальнейшем процесс будет повторяться.

Схема, показанная на рис. 11, обладает следующим свойством: если до подачи поджигающих импульсов зарядить конденсатор C_1 и затем отключить источник питания, то устройство будет генерировать небольшую серию вспышек, убывающих по энергии, так как от импульса к импульсу напряжение на конденсаторе C_1 будет убывать пока не окажется ниже напряжения возникновения разряда в одной из ламп.

Напряжения на конденсаторах и энергии вспышек можно подсчитать по следующим формулам (полагая $U_{пог}=0$): для нечетных импульсов 1, 3, 5, ... (работает лампа $Л_1$).

$$U_n = U_0 k^{\frac{n-1}{2}}; \tag{8}$$

$$E_n = \frac{U_0^2 C_1}{2}\left(k^{n-1} - k^n\right); \tag{9}$$

для четных импульсов 2, 4, 6, ... (работает лампа $Л_2$)

$$U_n = U_0 k^{\frac{n}{2}}; \tag{10}$$

$$E_n = \frac{U_0^2 C_2}{2} k^n, \tag{11}$$

где U_0 — начальное напряжение на конденсаторе;

n — номер последующего импульса; $k = \dfrac{C_1}{C_1 + C_2}$.

Формулы (8)—(11) пригодны для расчета и в случае стробоскопического режима, если положить $n=1$ и $n=2$.

Существенное значение для характеристики устройства с импульсными лампами имеет род источника питания. Лабораторные установки в большинстве случаев питаются от сети переменного тока через выпрямители. Для высоковольтных ламп выпрямители часто собирают по схемам с умножением напряжения. Для питания переносных фотоосветительных устройств с низковольтными лампами (100—500 *в*) применяют гальванические батареи и аккумуляторы. Нередко в комплект установки входит и выпрямитель, дающий возможность при работе в помещении питать ее от сети. В этом отношении некоторое преимущество имеют устройства с рабочим напряжением 300 *в*. Комбинированный выпрямитель для их питания как от сети 127, так и 220 *в* имеет особенно простую схему: для сети напряжением 127 *в* по схеме удвоения ($U_{выпр}=$ $=320$ *в*), для сети напряжением 220 *в* по однополупериодной или мостовой схеме ($U_{выпр}=310$ *в*).

Для питания импульсных ламп, работающих при напряжении 300 *в*, выпускается специальная батарея 330-ЭВМЦГ-1 000 («Молния»), основные данные которой следующие:

Начальное напряжение, *в*	Число вспышек		Конечное напряжение, *в*	Размеры, *мм*	Вес, *кг*	Гарантийный срок хранения, мес.	Сопротивление внешней цепи не менее, *ом*
	при 20° С	при 0° С					
330	1 000	400	240	120×62×132	1,4	6	200

Хорошо работают также батереи БА-СА-45 (напряжением 45 *в*) для слуховых аппаратов. Ими удобно питать низковольтные лампы напряжением 130 и 200 *в*. Батареи соединяются последовательно.

Следует особо остановиться на энергетических и временных зависимостях при заряде конденсаторов. Несложный расчет показывает, что на заряд конденсатора через ограничивающее сопротивление источник питания затрачивает энергию, равную CU^2. Конденсатор получает только половину этой энергии, другая теряется на ограничивающем сопротивлении, проводах и внутреннем сопротивлении источника питания независимо от их величины. Величина суммарного сопротивления влияет только на ток и время заряда конденсатора. С уменьшением ограничивающего сопротивления это время сокращается, но зато увеличивается доля потерь энергии на внутреннем сопротивлении батареи, что ускоряет ее порчу. Поэтому ограничивающее сопротивление должно быть в несколько раз больше внутреннего сопротивления источника питания. Чем больше внутреннее сопротивление батареи, т. е. чем она маломощнее, тем больше должна быть величина ограничивающего сопротивления.

Функция этого сопротивления состоит не только в ограничении зарядного тока: в момент вспышки оно образует с импульной лампой делитель напряжения, благодаря чему главный конденсатор может разряжаться до напряжения прекращения разряда в лампе. При малой величине сопротивления падение напряжения на лампе в некоторых случаях может оказаться достаточным для поддержания ионизации газа и импульсный разряд перейдет в непрерывный.

Эффективность зарядной цепи можно увеличить, если заряжать конденсатор напряжением, растущим по мере накопления им заряда. Если это напряжение плавно нарастает или прибывает небольшими ступенями, то к. п. д. зарядной цепи становится близким к единице. Даже при двух ступенях заряда к. п. д. повышается с 50 до 75%. На рис. 12 приведена схема, с помощью которой количество вспышек от одной батареи можно увеличить в 2—3 раза. Переключатель *П* позволяет включать секции батареи параллельно (*0,5*) либо последовательно (*1*). Основное положение переключателя *0,5*. В положение *1* он переводится через несколько секунд после вспышки для подзаряда конденсатора до номинального напряжения, а перед вспышкой снова возвращается в исходное положение.

Диод *В* предохраняет заряженный конденсатор от разряда на батарею. Подобным образом, можно использовать и батарею 330-ЭВМЦГ-1000. Для этого следует вскрыть оболочку батареи у самого дальнего от фишки ребра и, перерезав провод, соединяющий две секции батареи, включить их, как показано на рисунке.

Гальванические элементы с э. д. с., равной напряжению питания импульсной лампы, сравнительно дороги, а срок хранения их мал (6—8 мес.). Для снижения эксплуатационных расходов в ряде фотоосветительных устройств используются низковольтные батареи (4—12 *в*), напряжение которых при помощи вибро- или транзисторного преобразователя повышается до необходимой величины. Особен-

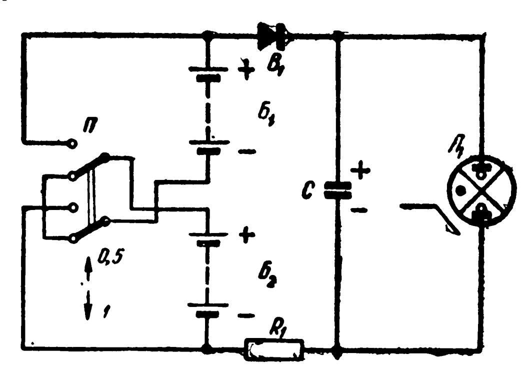


Рис. 12. Схема двухступенчатого заряда конденсатора.

но удобны для использования в подобных устройствах малогабаритные аккумуляторы (типов СЦ и СЦС), хорошо работающие в импульсном режиме и допускающие многократные подзаряды. Применение преобразователей оправдано только в том случае, если предусмотрена возможность автоматического отключения батарей, когда напряжение на главном конденсаторе достигает нужной величины.

Время, необходимое для заряда конденсатора, зависит от величины ограничивающего сопротивления, емкости конденсатора, рода питания (постоянное или пульсирующее напряжение) и начального напряжения на конденсаторе. Вычисление этого времени по формулам довольно сложно. С достаточной для практики степенью точности расчеты удобнее производить с помощью кривых, приведенных на рис. 13. Кривые на рисунке построены для постоянного напряжения и выпрямленного двух- и однополупериодного. По горизонтальной оси отложено «безразмерное» время, т. е. отношение времени заряда к постоянной времени цепи *RC*, где *R* состоит из ограничивающего сопротивления и внутреннего сопротивления батареи (или обмотки трансформатора и выпрямителя), по вертикальной оси отложено отношение напряжения на конденсаторе к напряжению питания. При работе от выпрямителей за напряжение питания принимается амплитудное значение напряжения переменного тока, равное 1,41 $U_{действ}$. Кривые построены в предположении, что ток утечки конденсатора и обратный ток выпрямителя отсутствуют. Кривые *2*

и *3* применены только в том случае, если $RC \gg 1/f$, где R — зарядное сопротивление, *мом*, C — емкость, *мкф*, f — частота напряжения сети, *гц*. Для фотоосветительных устройств, срабатывающих с периодом 0,5 *сек* и больше, это требование всегда выполняется. Интересно отметить, что в этом случае время заряда конденсатора не зависит от частоты питающей сети.

Определим для примера время, необходимое для заряда конденсатора емкостью 1 300 *мкф*, через сопротивление 1 *ком* до на-

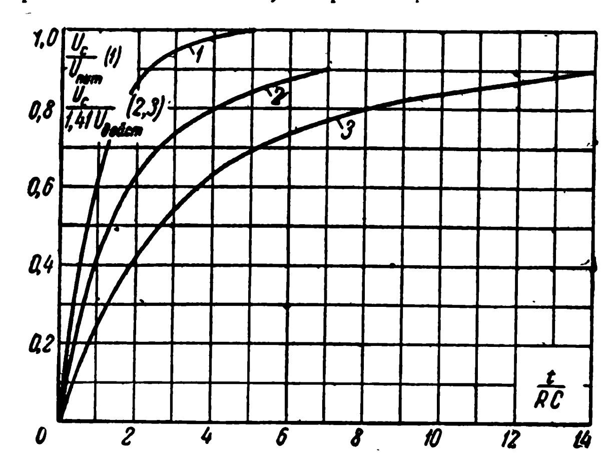


Рис. 13. Графики для расчета времени заряда конденсатора. *1* — постоянное напряжение; *2* — выпрямленное двухполупериодное; *3* — выпрямленное однополупериодное.

пряжения 270 *в* при питании от батареи 300 *в* и от сети переменного тока 220 *в* с двухполупериодным и однополупериодным выпрямителями. Начальное напряжение на конденсаторе $U_{нач} = 0$. В данном примере

$$\frac{U_C}{U_{пит}} = \frac{270}{300} = 0,9, \text{ а } \frac{U_C}{U_a} = \frac{270}{1,41 \cdot 220} \approx 0,9.$$

Точке *0,9* на вертикальной оси в случае питания от батарей (кривая *1*) соответствует $\frac{t}{RC} = 2,3$; для двухполупериодного выпрямления $\frac{t}{RC} = 7$ (кривая *2*), однополупериодного (кривая *3*) $\frac{t}{RC} = 14$. Следовательно, для первого варианта $t = 0,001 \cdot 1\,300 \cdot 2,3 = 3$ *сек*, для второго — $t = 9,1$ *сек*, для третьего — $t = 18,2$ *сек*.

Графиками на рис. 13 можно пользоваться и в тех случаях, когда до начала процесса конденсатор был уже частично заряжен. При этом из времени, потребного для заряда конденсатора от нуля до требуемой величины, вычитается время, нужное для его заряда от нуля до исходного напряжения.

С помощью приведенных кривых можно определять не только время заряда по известным параметрам цепи, но и величину зарядного сопротивления по требуемому времени заряда.

Если вспышки происходят регулярно с относительно небольшой частотой, то средний ток в цепи равен:

$$i \approx C U_C f, \text{ ма}, \qquad (12)$$

где C — емкость конденсатора, *мкф*;

U_C — напряжение на конденсаторе перед вспышками, *кв*;

f — частота вспышек, *гц*.

По напряжению питания и среднему току можно рассчитать трансформатор питания и выпрямитель по общим правилам. В момент начала заряда конденсатора в цепи протекает максимальный ток:

$$I_{\text{макс}} = U_{\text{макс}}/R, \qquad (13)$$

величину которого следует учитывать при выборе диода.

В стробоскопах, использующих строботроны с высоким рабочим напряжением, напряжение на главном конденсаторе можно сделать больше постоянного напряжения источника питания с помощью схемы, показанной на рис. 14. После срабатывания лампы $Л_1$ начнется заряд конденсатора C_1 через дроссель L_1 и диод B_1. При этом

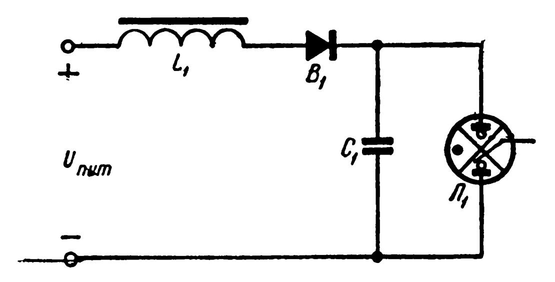


Рис. 14. Схема для повышения напряжения на конденсаторе.

происходит накопление электрической энергии в конденсаторе и магнитной — в сердечнике дросселя. Когда напряжение на конденсаторе станет равным напряжению питания, потребление энергии от источника питания прекратится, однако напряжение на конденсаторе будет продолжать расти за счет э. д. с. самоиндукции дросселя.

Напряжение на обкладках конденсатора в идеальном случае (сопротивление катушки и диода равны нулю) не зависит от параметров цепи и равно:

$$U_C = 2U_{\text{пит}} - U_{C\text{нач}}, \qquad (14)$$

где $U_{\text{пит}}$ — напряжение питания;

$U_{C\text{нач}}$ — напряжение на конденсаторе до начала заряда.

Диод B_1 препятствует разряду конденсатора на источник питания.

Эффективная работа цепи возможна при соблюдении двух условий. Во-первых, необходимо, чтобы

$$\frac{4L}{R^2} > C, \qquad (15)$$

где R — сопротивление потерь, *ом*;

L — индуктивность дросселя, *гн*;

C — емкость конденсатора, *ф*.

Во-вторых, для того чтобы конденсатор успел зарядиться в интервалах между вспышками, должно выполняться условие (без учета сопротивления потерь)

$$3{,}14\sqrt{LC} \leqslant \frac{1}{f}, \qquad (16)$$

где f — частота вспышек, *гц*. Очень малая величина левого члена уравнения (16), т. е. сокращение времени заряда конденсатора нежелательно, так как при этом увеличивается максимальный зарядный ток, неблагоприятный для выпрямителя и трансформатора. Максимальный зарядный ток равен:

$$I_{\text{макс}} = (U_{\text{пит}} - U_{C\,\text{нач}})\sqrt{\frac{C}{L}}. \qquad (17)$$

Максимальная энергия, которая накапливается дросселем в течение первой фазы заряда (при $U_{C\text{нач}}=0$):

$$E_{L\,\text{макс}} = \frac{LI^2_{\text{макс}}}{2} = 0{,}25\left(\frac{CU^2_{C\,\text{макс}}}{2}\right). \qquad (18)$$

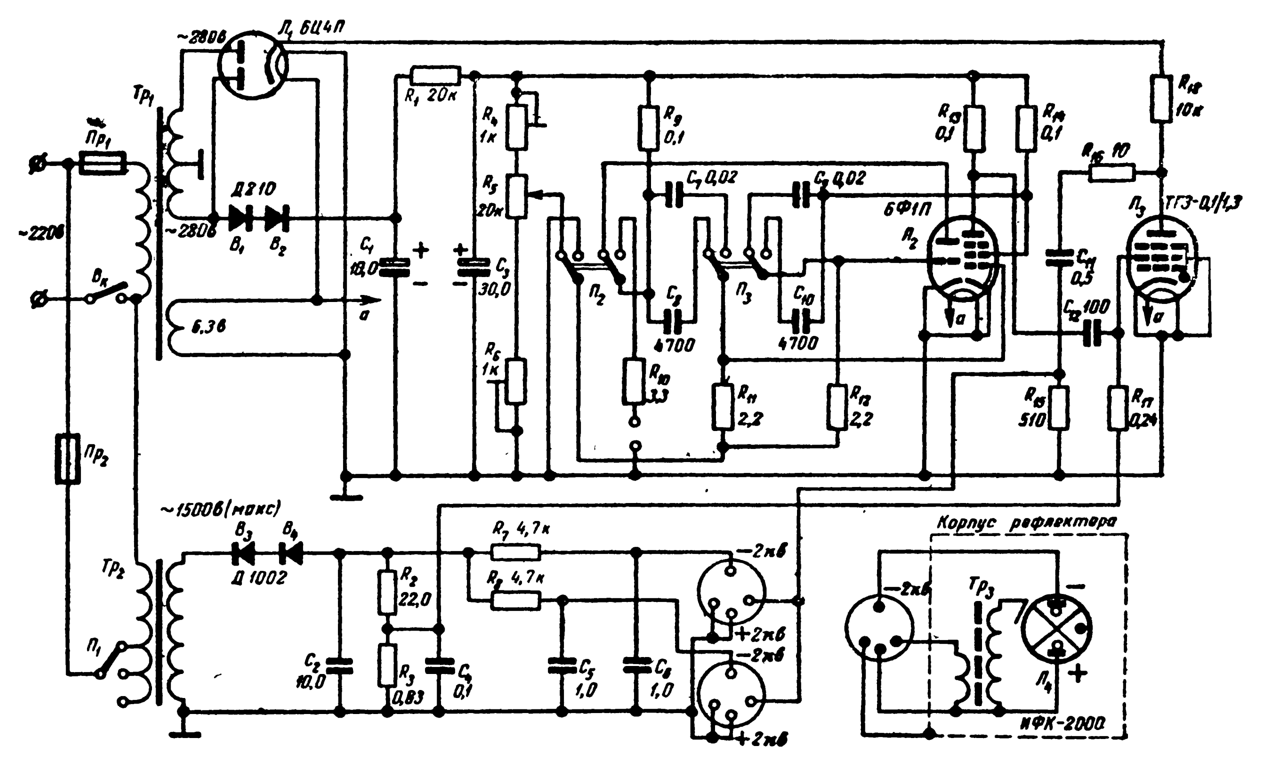
Формулы (17) и (18) объясняют, в частности, почему схема на рис. 14 неприменима в фотоосветительных устройствах: при больших энергиях вспышек зарядный ток и индуктивность окажутся очень большими.

Активное сопротивление дросселя и диода значительно меняет свойства цепи. Действие этих сопротивлений проявляется в уменьшении напряжения на конденсаторе и увеличении времени заряда. Так, например, если $4L/R^2=25C$, то при $U_{C\text{нач}}=0$, $U_{C\text{макс}}=1{,}53\ U_{\text{пит}}$, а $t=3{,}25\sqrt{LC}$ при $4L/R^2=15C$, $U_{C\text{макс}}=1{,}43\ U_{\text{пит}}$, а $t=3{,}3\sqrt{LC}$; для $4L/R^2=5C$, $U_{C\text{макс}}=1{,}25\ U_{\text{пит}}$, $t=4{,}04\sqrt{LC}$.

Схема на рис. 14 дает выигрыш только по напряжению, ее к. п. д. не превышает 50%.

На рис. 15 и 16 приведена принципиальная схема установки, которая может служить и стробоскопом, и фотоосветительным устройством.

Частотой следования световых импульсов можно управлять, либо меняя частоту внутреннего генератора, либо от контактора (механического устройства), обеспечивающего замыкания двух контактов синхронно с исследуемым процессом (например, при каждом обороте вала). При работе в фотоосветительном режиме для запуска используются нулевые синхроконтакты фотоаппарата.


Рис. 15. Схема универсального стробоскопа.

Для удобства предусмотрены две синхронно работающие лампы, каждая в собственном рефлекторе, связанном с прибором гибким кабелем со штапельным разъемом (на схеме показана одна лампа). Одна из ламп может быть отключена, что не сказывается на режиме работы другой. Предельная частота следования световых импульсов в стробоскопическом режиме 85 *гц* (5 000 *об/мин*), в фотоосветительном 5 *гц*. Максимальная энергия вспышек (двух ламп) в фотоосветительном режиме 70 *дж* (с одним конденсаторным блоком), в стробоскопическом 4 *дж*. Силу света в обоих режимах можно регулировать ступенями. Прибор питается от сети переменного тока 220 *в* потребляемая мощность не более 700 *ва*.

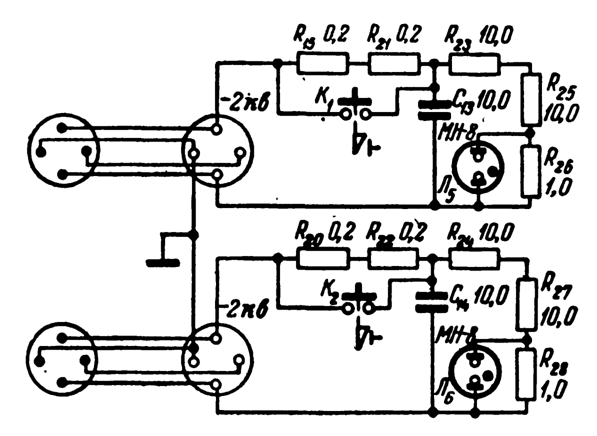


Рис. 16. Схема блока дополнительных конденсаторов.

Первичный генератор (собранный на лампе $Л_2$) может работать либо мультивибратором в автоколебательном режиме (как показано на схеме), либо в ждущем режиме с запуском от механических контактов. Мультивибратор образован триодом и сетками пентодной части лампы, где экранирующая сетка выполняет функцию анода. Нагрузка включена в анодную цепь пентода. Частота следования импульсов может регулироваться переключателем $П_3$ (скачком) и потенциометром R_5 (плавно). Положительные импульсы напряжения на сопротивлении R_{17} отпирают тиратрон $Л_3$. Конденсатор C_{11}, разряжаясь через тиратрон и первичные обмотки поджигающих трансформаторов $Тр_3$ (рис. 15), создает высоковольтные импульсы в цепи поджигающих электродов. Сопротивление R_{16} ограничивает величину тока через тиратрон, что увеличивает его срок службы. Конденсатор C_{11} заряжается пульсирующим напряжением, что облегчает прекращение разряда тиратрона $Л_3$. Вместо полупроводникового выпрямителя применены кенотрон $Л_1$ для задержки подачи высокого напряжения на анод тиратрона до прогрева его катода. Заменять кенотрон полупроводниковыми диодами не следует.

Для питания импульсных ламп используется выпрямитель, состоящий из трансформатора $Тр_2$ и диодов $В_3$, $В_4$. Плюс высокого напряжения заземлен. Для управления энергией вспышек первичная обмотка трансформатора имеет отводы. Выпрямленное

напряжение с помощью переключателя $П_1$ может меняться в пределах 1 000—2 100 *в*.

Сопротивления R_2, R_3 служат для разряда высоковольтных конденсаторов после выключения прибора. С сопротивления R_3, кроме того, подается отрицательное смещение на управляющую сетку тиратрона $Л_3$.

При работе от контактора триод лампы $Л_2$ отключается. Замыкание контактов создает на управляющей сетке пентода отрицательный импульс от разряда конденсатора C_7 или C_8 на сопротивления R_{10} и R_{11}. Положительные импульсы, возникающие на аноде пентода, отпирают тиратрон. Далее схема работает так, как было описано выше.

Для переключения прибора из стробоскопического режима в фотоосветительный параллельно конденсаторам C_5 и C_6 подключается блок дополнительных конденсаторов C_{13} и C_{14} (рис. 16), увеличивающих энергию вспышек. Работа прибора в этом случае должна происходить только от синхроконтактов, которые подключаются к гнездам «Контактор». При подключении нескольких конденсаторных блоков энергия вспышки увеличивается, но при этом увеличивается и время их заряда. Кнопки K_1 и K_2 дают возможность переключать режимы прибора при подсоединенном конденсаторном блоке. Быстрое переключение режимов работы позволяет производить фотосъемку при желаемом положении объекта, которое предварительно выбирается в стробоскопическом свете. Для подобных съемок синхроконтакты аппарата включаются последовательно с контактором.

Трансформатор $Тр_3$ намотан на гильзе длиной 30, диаметром 14 *мм*; к торцам гильзы приклеены щечки диаметром 50 *мм*. Первичная обмотка содержит 150 витков провода ПЭВ-2 0,64 *мм*, вторичная обмотка содержит 15 000 витков провода ПЭЛШО 0,06 *мм*. После изготовления трансформатора внутрь гильзы помещают ферритовый стержень длиной 30, диаметром 8 *мм*.

ПРАКТИЧЕСКИЕ СОВЕТЫ

Установки импульсного света должны удовлетворять требованиям техники безопасности. Все токонесущие узлы и детали должны быть надежно изолированы и скрыты так, чтобы исключалась возможность поражения электрическим током. Следует иметь в виду, что заряд на главных конденсаторах, нередко опасный для жизни, сохраняется длительное время даже после отключения от установки питающего напряжения. Поэтому все переключения, предусмотренные конструкцией прибора, следует производить лишь при полностью разряженных конденсаторах. Каждая установка должна иметь также блокировочное устройство, разряжающее конденсаторы при извлечении шасси из кожуха. Особой осторожности требует обращение с любительскими фотовспышками. При питании их от сети переменного тока следует избегать применения простейших бестрансформаторных выпрямителей.

Если рефлектор с импульсной лампой выносной, то в питающем кабеле следует предусмотреть отдельный провод для соединения корпуса рефлектора с шасси установки. Использование для

этой цели одного из проводов разрядного контура недопустимо. Всегда желательно (а для высоковольтных установок обязательно!) заземлять корпус.

В тех случаях, когда лампа и конденсатор разнесены, разряд может стать колебательным вместо апериодического (особенно к этому склонны шаровые лампы). Импульс при этом становится неустойчивым, длительность его увеличивается, а долговечность лампы сокращается. Чтобы разряд не принял колебательного характера, последовательно с лампой следует включать безындукционное сопротивление порядка 0,5—4 *ом*. Такое сопротивление, незначительно уменьшая силу света, намного повышает срок службы лампы.

В некоторых типах шаровых ламп газ находится под большим давлением, вследствие чего возможен взрыв баллона. Эти лампы должны использоваться в закрытых рефлекторах, исключающих возможность поражения осколками при взрыве. Лица, связанные с монтажом или испытанием лампы, должны иметь защитные маски и перчатки.

Перед установкой баллон лампы следует протереть спиртом от пыли и грязи. При подключении ламп надо соблюдать полярность выводов. При неправильном включении лампа работать будет, но срок службы ее сократится. Накидные контакты должны быть плотно надеты на ножки выводов. Несоблюдение этого условия вызывает обгорание ножек и уменьшает энергию вспышки.

Большинство импульсных ламп может работать в любом положении. Для некоторых ламп рабочее положение оговаривается в заводских инструкциях. Для предупреждения выхода лампы из строя это требование необходимо соблюдать при установке рефлектора возле освещаемого объекта.

В ходе эксплуатации импульсные лампы обычно не доводятся до полного износа. Считается, что трубчатые лампы подлежат замене после почернения внутренней поверхности трубки примерно на четверть или треть длины. Шаровые лампы заменяют после заметного на глаз потемнения колбы либо при сильных эрозионных разрушениях электродов. Для некоторых экземпляров ламп показателем выхода из строя служат перебои в работе или самопроизвольные вспышки.

Искровой разряд представляет собой источник радиопомех в широком диапазоне частот. Помехами от одиночных редких вспышек можно пренебречь. Стробоскопические установки должны снабжаться фильтрами радиопомех.

КОНДЕНСАТОРЫ ДЛЯ РАБОТЫ С ИМПУЛЬСНЫМИ ЛАМПАМИ

Для импульсных устройств были разработаны специальные конденсаторы, так как многие типы конденсаторов общего назначения плохо работают при разряде на малые сопротивления. Для питания низковольтных ламп-вспышек (до 500 *в*) применяются электролитические конденсаторы. В высоковольтных фотоосветительных установках и стробоскопах обычно применяются бумажные конденсаторы.

Таблица 6

Конденсаторы электролитические фотоосветительные

Наименование параметра	Тип конденсатора				
	ЭФ-130-1500	ЭФ-200-1500	ЭФ-300-400	ЭФ-300-800	ЭФ-300-1300
Номинальное напряжение, *в*	130+15	200+20	300+30	300+30	300+30
Емкость, *мкф*	$(300+1\,200)^{+750}_{-225}$	$(300+1\,200)^{+750}_{-225}$	$400+200^{+10}_{-60}$	$(400+400)^{+400}_{-120}$	$(650+650)^{+650}_{-195}$
Энергия заряда, *дж*	13	30	18	36	58
Работоспособность циклов заряда не менее (тыс.)	10	10	10	10	10
Критерий работоспособности—емкость не ниже	60% от начальной		50% от начальной		
Ток утечки при 20° ±5° не более, *ма*	2,0	2,0	1,0	1,5	2,0
Высота, *мм*	106	106	106	106	106
Диаметр, *мм*	40	50	34	50	65
Вес не более, *г*	350	450	300	400	600
Условия эксплуатации:					
температура окружающей среды, °С	от — 10 до +40				
относительная влажность, %	до 80				
атмосферное давление, *мм рт. ст.*	720—780				

Примечания: 1. При температуре +40° С ток утечки не превышает значений, указанных в таблице, более, чем в 2 раза.

2. При нагреве конденсаторов от + 20 до +40° С емкость его увеличивается не более чем на 30%.

3. При охлаждении конденсаторов от +20 до −10° С емкость уменьшается не более чем на 30%.

Для работы в импульсном режиме выпускается пять типов электролитических конденсаторов. Их условное обозначение состоит из букв ЭФ (электролитический фотоосветительный), рабочего напряжения в вольтах и емкости в микрофарадах. Параметры конденсаторов ЭФ приведены в табл. 6. Каждый конденсатор (кроме ЭФ-300-400) состоит из двух секций с общим отрицательным и раздельными положительными выводами. Конструктивно конденсаторы выполнены в виде алюминиевых цилиндров с пластмассовыми крышками, к которым приклепаны лепестки выводов.

Бумажные конденсаторы общего назначения (например, КБГ) могут быть, в принципе, использованы с импульсными лампами. Однако у отдельных экземпляров конденсаторов при импульсном разряде могут нарушаться электрические контакты между обкладками и выводами. Бумажные конденсаторы, специально предназначенные для работы в импульсном режиме, выпускаются под маркой ИМ — «импульсный маслонаполненный». Условное обозначение конденсатора состоит из букв ИМ, номинального рабочего напряжения в киловольтах и емкости в микрофарадах.

Параметры некоторых типов импульсных конденсаторов приведены в табл. 7.

Таблица 7

Конденсаторы импульсные маслонаполненные

Наименование параметра	Тип конденсатора			
	ИМ 0,5-250	ИМ 3-100	ИМ 3-250	ИМ 5-150
Рабочее напряжение, *кв*	0,5	3	3	5
Емкость, *мкф*	250^{+50}_{-50}	100^{+20}_{-20}	250^{+50}_{-25}	150^{+30}_{-15}
Энергия заряда, *дж*	31	450	1 125	1 875
Габариты:				
основание с ручками (или лапками), *мм*	398×110	398±8×110+8	324×145	324+145
высота с выводами, *мм*	435±10	435±10	950	950
высота без выводов, *мм*	370±10	370±10	860	860
Вес, *кг*	25	26	65	65
Условия эксплуатации:				
температура воздуха, °C	−35÷+50		−35÷+40	
относительная влажность, %	70	70	70	70

Для электролитических конденсаторов больших емкостей характерен рост тока утечки при хранении, что объясняется ухудшением изоляционных свойств оксидного слоя. Для восстановления качества изоляции (формовки) конденсатор следует подключать к источнику питания через сопротивление, ограничивающее начальный ток до 5—10 *ма*. В зависимости от срока хранения и индиви-

дуальных свойств конденсатора ток утечки снижается до нормы через 0,5—5 *ч*. Для формовки конденсаторов следует применять выпрямитель либо батарею большой емкости. Использование для этой цели маломощных батарей (330-ЭВМЦГ-1000) нецелесообразно из-за быстрого выхода их из строя.

Емкость и сопротивление утечки конденсаторов больших емкостей с удовлетворительной для практики точностью (5—10%) можно определить без специальных приборов. Для измерений требуется источник постоянного напряжения, величина которого должна быть равна или близка к предельному рабочему напряжению конденсатора, точно измеренное сопротивление, вольтметр с большим внутренним сопротивлением (20—50 *ком/в* или более) и секундомер.

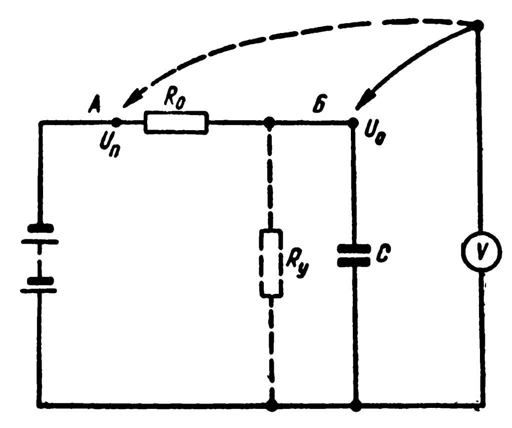


Рис. 17. Схема для измерения параметров конденсаторов.

В случае отсутствия секундомера можно использовать секундную стрелку любых часов, что, однако, менее удобно и отражается на точности.

Для измерений собирают схему, показанную на рис. 17.

Измерение емкости конденсатора основано на измерении постоянной времени цепи, образованной калиброванным сопротивлением и испытуемым конденсатором. При полностью заряженном конденсаторе сопротивление утечки образует с зарядным сопротивлением делитель напряжения. По величине напряжения на плечах делителя определяют величину сопротивления утечки конденсатора.

Сначала проверяют сопротивление утечки. Для этого конденсатор *С* должен быть полностью заряжен.

По установившейся величине напряжения U_0 в точке *Б* сопротивление утечки можно рассчитать по формуле

$$R_у = \frac{U_0 R_0}{U_п - U_0}, \qquad (19)$$

а ток утечки

$$I_у = \frac{U_п - U_0}{R_0}. \qquad (20)$$

Перед измерением емкости сопротивление R_0 следует отключить от источника питания, а конденсатор C полностью разрядить.

Для измерения емкости сопротивление R_0 подключают к источнику питания. Одновременно с этим запускают секундомер. После того как напряжение на конденсаторе достигнет определенной части напряжения питания, секундомер останавливают. Емкость конденсатора в микрофарадах определяют по формуле

$$C = k\frac{t}{R_0}, \qquad (21)$$

где t — показания секундомера, *сек*;
R_0 — зарядное сопротивление, *ком*.

Коэффициент k зависит от величины напряжения, при котором был остановлен секундомер. Величина его определяется из таблицы.

U_0 в момент остановки секундомера	0,4 U_0	0,5 U_0	0,63 U_0
k	2 500	1 430	1 000

Пример. Необходимо проверить электролитический конденсатор ЭФ-300-800. $U_п=300$ *в*, $R_0=20$ *ком*. При измерении оказалось, что $U_0=284$ *в*, а напряжение на обкладках достигает 142 *в* (0,5 U_0) за 12,3 *сек*, следовательно,

$$R_у = \frac{284 \cdot 20}{300 - 284} = 355 \text{ ком},$$

$$I_у = \frac{300 - 284}{20} = 0{,}8 \text{ ма},$$

$$C = 1\,430\frac{12{,}3}{20} = 880 \text{ мкф}.$$

Если произведение R_0C мало, то напряжение на конденсаторе будет возрастать очень быстро и измерение емкости будет затруднено. Можно рекомендовать следующие значения сопротивления R_0 в зависимости от ожидаемой величины емкости C:

C	20—100 *мкф*	100—500 *мкф*	500—2 000 *мкф*
R_0	500—100 *ком*	200—40 *ком*	50—5 *ком*

Электролитические конденсаторы перед измерением должны быть отформованы.

Зельдин Евсей Аронович
Импульсные газоразрядные лампы и их схемы включения.
М.—Л., издательство «Энергия», 1964. 48 стр. с илл.
(Массовая радиобиблиотека. Вып. 523).
Б. З. № 80 за 1963 г. № 5.

* * *

Редактор *Р. Е. Елисеев* Техн. редактор *Г. Е. Ларионов*
Обложка художника *А. М. Кувшинникова*

Сдано в пр-во 8/II 1964 г. Подписано к печати 31/III 1964 г.
Формат бумаги 84×108[1]/32 2,46 п. л. 3,1 уч.-изд. л.
Т-04254 Тираж 22 000 экз. Цена 12 коп. Заказ 1068

Московская типография № 10 Главполиграфпрома
Государственного комитета Совета Министров СССР по печати.
Шлюзовая наб., 10.

Цена 12 коп.